



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Bygninger Energi Klima

*Mod et nyt paradigme*

Marsh, Rob; Larsen, Vibeke Grupe; Hacker, Jake

*Publication date:*  
2008

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Marsh, R., Larsen, V. G., & Hacker, J. (2008). *Bygninger Energi Klima: Mod et nyt paradigme*. SBI forlag.

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Rob Marsh  
Vibeke Grupe Larsen  
Jake Hacker

**Bygninger**

**Energi**

**Klima**

Mod et nyt paradigme

Statens Byggeforskningsinstitut



Rob Marsh  
Vibeke Grupe Larsen  
Jake Hacker

# Bygninger Energi Klima

Mod et nyt paradigme

Statens Byggeforskningsinstitut 2008



Titel	Bygninger Energi Klima: Mod et nyt paradigme
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2008
Forfattere	Rob Marsh, Vibeke Grupe Larsen, Jake Hacker
Sprog	Dansk
Sidetæl	48
Litteraturhenvisninger	Side 46
English summary	Side 48
Emneord	Bygninger, energiforbrug, energibesparelser, klimaændringer, boligbyggeri, kontorbyggeri
ISBN	978-87-563-1347-6
Pris	Kr. 175,00 inkl. 25 pct. moms
Layout og redigering	Rob Marsh
Fotos & illustrationer	Rob Marsh
Tryk	Rosendahls Bogtrykkeri
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post <a href="mailto:sbi@sbi.dk">sbi@sbi.dk</a> <a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a>

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

*Bygninger Energi Klima: Mod et nyt paradigme.*

*Statens Byggeforskningsinstitut. (2008).*

	05 Forord	06 Mod et nyt paradigme	
11 Helhed	12 Fortid	14 Energi i helhedsperspektiv	17 Lys, luft og energi
19 EI	20 Nutid	22 Fokus på elektricitet	25 Synlige elbesparelser
27 Klima	28 Fremtid	30 Klima og køling	33 Faseskiftende materialer
35 Strategi	36 Rum	38 Materialer	40 Teknologi
	43 Data	46 Referencer	48 Summary



# Forord

Debatten om bygninger, energi og klima forandrer sig. Det sker, fordi samfundets energi- og klimamæssige problemstillinger ændrer sig over tid, og det påvirker, hvordan man definerer lavenergiebegrebet.

Bevægelser i klimaforhold og energikrav skaber mange udfordringer for byggesektoren som helhed. Energibesparelser har i mange år været domineret af bestræbelser på at minimere varmekonsum. Men bygningers energiforbrug består af mange forskellige komponenter, og i et helhedsperspektiv er det elektricitet, der i vidensamfundets nye bygninger dominerer primærenergiforbruget. Samtidig indikerer klimaændringer, at disse tendenser vil forstærkes i fremtiden.

Denne bog stiller derfor en række provokerende og debatterende spørgsmål til disse forandringer ved at pege på et nyt paradigme for fremtidens nye bygninger, uanset om det drejer sig om lavenergi-, energineutrale eller energiproducerende bygninger.

Bogen udgives i forbindelse med konferencen *Bygninger Energi Klima: Mod et nyt Paradigme*. Projektets gennemførelse, bogens udgivelse og konferencens afholdelse er blevet støttet af:

- BoligfondenKuben
- Elsparefonden
- Dansk Energi/ELFORSK.

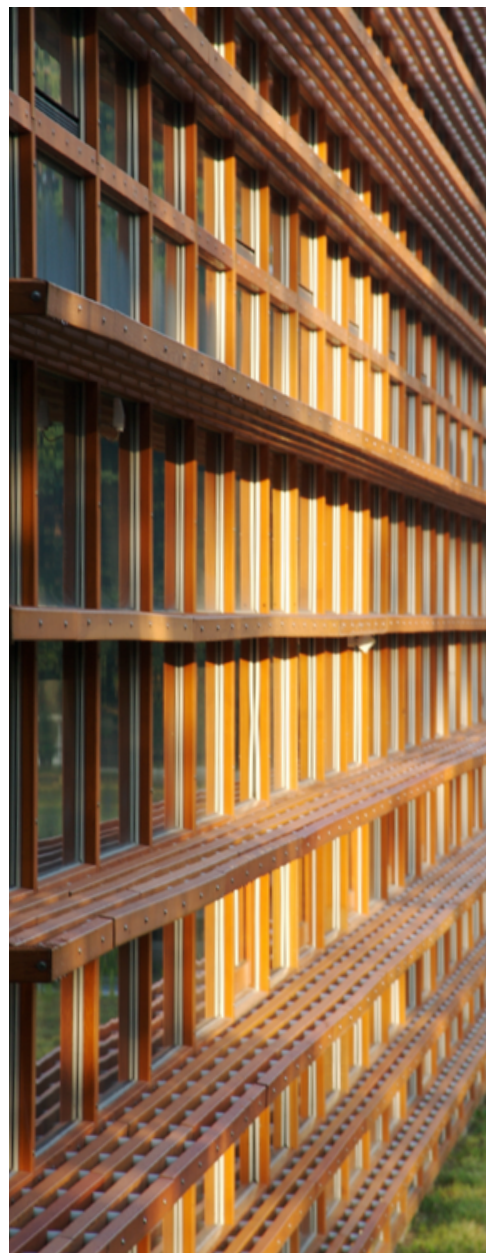
Projektet er blevet udført af:

- Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
- Vglcph aps
- Arup
- Akademisk Arkitektforening.

Bogens forfattere er:

- Rob Marsh, arkitekt MAA ph.d.; Seniorforsker, SBI
- Vibeke Grupe Larsen, arkitekt MAA; Konsulent, Vglcph aps
- Jake Hacker, building physicist ph.d.; Associate, Arup.

Mikkel Kragh, civilingeniør ph.d., Arup, samt Ole Michael Jensen og Klaus Hansen, seniorforskere, SBI, har kommenteret og kvalitetssikret bogen. Rejselegatet *Den Gule Mursten*, som blev tildelt Rob Marsh af BoligfondenKuben i 2006, har muliggjort en række studieture til de udenlandske bygninger, som er illustreret i denne bog.



# Mod et nyt paradigme

**Nye bygningers energiforbrug har gennemgået store forandringer siden 1970'ernes oliekrise, med en klar tendens til at elforbruget vokser og varmemeforbruget falder.**

Samfundsmæssige og teknologiske forandringer påvirker bygningers energiforbrug. Før var det opvarmningsbehovet, der dominerede nye bygningers energiforbrug, hvorved varmebesparelser blev den naturlige fokus. Der er som konsekvens opnået store reduktioner i nye bygningers varmemeforbrug over de sidste 30 år, alt i mens vidensamfundets udvikling har resulteret i en kraftig stigning i bygningers elforbrug.

Der er behov for at lære af fortidens udvikling, og for at se energiforbruget i et helhedsperspektiv.

**Det er nu elektricitet der dominerer nye bygningers samlede primærenergiforbrug, og det betyder ændrede forestillinger om hvordan lavenergibegrebet defineres.**

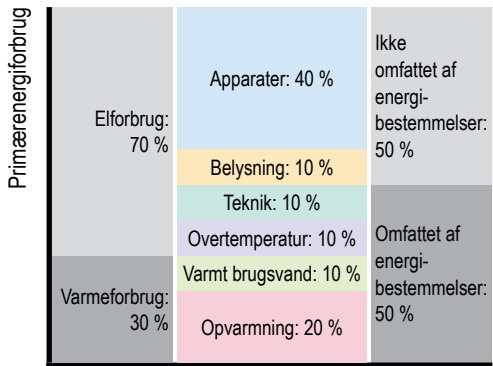
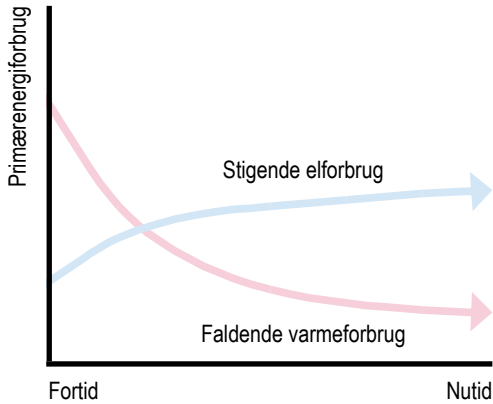
Elforbruget udgør ca. 70 % af nye bygningers samlede primærenergiforbrug, og ca. halvdelen af primærenergien kan tilskrives komponenter, som ikke er omfattet af de nuværende energibestemmelser. Det betyder, at et bredt spektrum af elbesparelser i vidensamfundets nye bygninger kan give større reduktioner i det samlede primærenergiforbrug end de traditionelle varmebesparende foranstaltninger.

Der er brug for en større fokus på elbesparelser, hvis fremtidens bygninger på sigt skal være energineutrale eller energiproducerende.

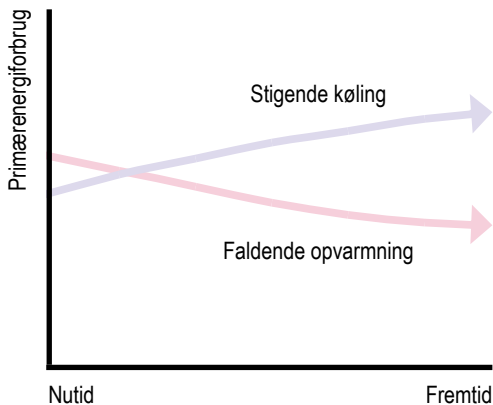
**Samtidigt betyder klimaændringer at bygninger i fremtiden vil få endnu mindre behov for opvarmning om vinteren, mens behovet for køling om sommeren vil blive større.**

Den globale opvarmning vil utvivlsomt fortsætte i mange år, med stigende sommer- og vintertemperaturer, også selv om det lykkes at standse stigningen i udledning af drivhusgasser. Meget tyder på at nye bygninger allerede i dag projekteres på et klimagrundlag, som overvurderer behovet for opvarmning, og undervurderer problemerne med køling.

Der er et voksende behov for at minimere bygningers kølebehov og sikre et godt indeklima under fremtidens temperaturstigninger.



Nye bygningers energiforbrug



Der kan peges på et nyt paradigme for lavenergi- og energineutrale bygninger, som dels lærer af fortidens forandringer i energiforbrug, dels afspejler nutidens udvikling i vidensamfundet og dels tager afsæt i fremtidens klimaudfordringer. Denne bog belyser paradigmet og udforsker en strategi for dets realisering:

- Helhed: El og varme i et helhedsperspektiv
- El: Større fokus på elbesparelser
- Klima: Større fokus på klimaændringer
- Strategi: Rum, materialer og teknologi.

Hvert tema har en fælles tilgang, som beskriver udviklingen, perspektiverer problemstillingerne og undersøger innovationsmulighederne.

## Helhed

Selv om bygningers elforbrug har været under kraftig vækst i 30 år, er det paradoksalt, at der stadigvæk findes mange initiativer indenfor lavenergibyggeri, hvor der ikke reflekteres over konsekvenserne af den historiske forandring i energiforbrugets sammensætning. I stedet for sættes der pr. automatik på varmebesparelser.

Spørgsmålet om hvordan man definerer lavenergibegrebet, og derved afgrænser indsatsområdet for energibesparelser, er yderst relevant. Det kan illustreres i forhold til forskellige definitioner for lavenergibygninger som bevæger sig fra de snævre til de bredde:

- Passivhus-koncept: Dette tyske koncept anvender de traditionelle varmebesparende foranstaltninger og er kun rettet mod en minimering af bygningers opvarmningsbehov. Denne definition afgrænser indsatsområdet for besparelser til ca. 20 % af nye bygningers samlede primærenergiforbrug.
- Energiramme: Den nuværende lovgivning anvender en energiramme og lavenergiklasser, som omfatter opvarmning, varmt brugsvand, teknik og overtemperatur/køling i alle bygninger samt belysning i alle bygninger, undtagen boliger. Denne definition afgrænser indsatsområdet for besparelser til ca. 50 % af nye bygningers samlede primærenergiforbrug.
- Samlet primærenergiforbrug: Bygningers høje elforbrug kan synliggøres ved at inkludere elforbruget til apparater i alle bygninger samt



Lavenergiløsninger i et helhedsperspektiv.  
UBA, Dessau, 2005.

belysning i boliger. Denne definition udvider lavenergibegrebet til 100 % af det samlede primærenergiforbrug.

- **Energineutrale eller -producerende bygninger:** Der er i de senere år lanceret koncepter for bygninger, som er energineutrale eller energiproducerende på årsbasis. Lavenergibegrebet omfatter igen 100 % af det samlede primærenergiforbrug, mens der også inddrages hensyn til energiforsyningssystemet.

## **EI**

Der er en politisk målsætning om at reducere nye bygningers energiforbrug med 75 %. Men når de nuværende energibestemmelser har en afgrænsning, som kun omfatter ca. 50 % af det samlede primærenergiforbrug, vil effekten af disse stramninger kun give en besparelse på ca. 35 - 40 %. Hvis der skal leves op til de politiske målsætninger, og hvis nye bygninger på sigt skal være energineutrale, er der behov for at udvide lavenergibegrebet med et langt større fokus på elbesparelser og vedvarende elproduktion.

Vidensamfundets bygninger har højteknologiske, funktionelle krav, og disse relaterer sig til brug af elektricitet. Denne funktionalitet er en integreret del af nye bygningers virkemåde, og det resulterende elforbrug er en integreret del af driften. Disse højteknologiske krav forventes ikke at forsvinde, men vil blive større i fremtiden.

Ved at udvide lavenergibegrebet og synliggøre elforbruget til apparater i alle bygninger samt belysning i boliger kan der foretages sammenlignelige vurderinger af forskellige energibesparende strategier set i et helhedsperspektiv, og det vil understøtte udvikling af nye elbesparende apparater, installationer og driftskoncepter.

## **Klima**

For de fleste nye bygninger i Danmark kan man forvente et større kølebehov end varmebehov over de kommende år på grund af klimaændringer. Den konklusion er bekræftet af flere udenlandske undersøgelser. Nye bygninger er blevet bedre isolerede, mens elforbruget og tilskudsvarmen fra elapparater er blevet større. Det betyder, at stigende problemer med overophedning om sommeren kommer til at dominere i forhold til et faldende varmebehov om vinteren.

Med et voksende kølebehov bliver apparaternes høje elforbrug og uønskede varmeafgivelser problematisk. Traditionelle betragtninger om apparaters varmeafgivelser som en gratis tilskudsvarme, der minimerer opvarmningsbehovet, skal opgives. En indsats rettet mod elbesparelser vil resultere i lavere varmeafgivelser, bedre komfortforhold, et reduceret kølebehov og dermed et mindre primærenergiforbrug som helhed.

Nøglen til fremtidens lavenergi- og klimatilpassede bygninger kan findes i de passive designstrategier og aktive teknologier, som med succes er blevet brugt i varmere lande til at minimere kølebehovet. Her er fokus på naturligt dagslys, naturlig ventilation og termisk masse.

## Strategi

Et nyt paradigme for fremtidens lavenergi- og energineutrale bygninger kan realiseres ved at anvende et udvidet lavenergibegreb, som lærer af fortiden, afspejler nutiden, og tager afsæt i fremtiden:

### *Rum*

Et veldisponeret dagslysindfald er en central kvalitativ fordring. Rum med stor højde til vinduets overkarm samt beskeden rumdybde sikrer en god dagslysfordeling og kan ventileres naturligt. Det minimerer elforbruget til belysning og teknik. Vinduers størrelse bør fastlægges ud fra dagslysbehov, og rum med større vinduesarealer kan med fordel orienteres mod nord for at minimere overophedning om sommeren.

### *Materialer*

Energitekniske og produktionsmæssige fordele kan opnås ved at anvende lette, præfabrikerede elementer, som er højisolerede og integrerer multifunktionelle vindueskomponenter. I kombination med tunge indvendige bygningsdele og faseskiftende materialer kan primærenergiforbruget til opvarmning og køling reduceres betragteligt.

### *Teknologi*

I vidensamfundets bygninger kan man forvente voksende højteknologiske krav og øget udbredelse af intelligente apparater og installationer. Ved at satse på et bredt spektrum af elbesparende strategier og en omfattende vedvarende energiproduktion kan fremtidens bygninger blive energineutrale i et helhedsperspektiv.

Lavenergibegrebet skal udvides med strategier fokuseret på rum, materialer og teknologi.

VKR Holding, Hørsholm, 2007.









## Fortid

Bygningers energiforbrug er gennemgået store forandringer i årene efter 1970'ernes oliekrise, både i forhold til den samlede bygningsmasse og i forhold til nybyggeriet.

### Boligers energiforbrug

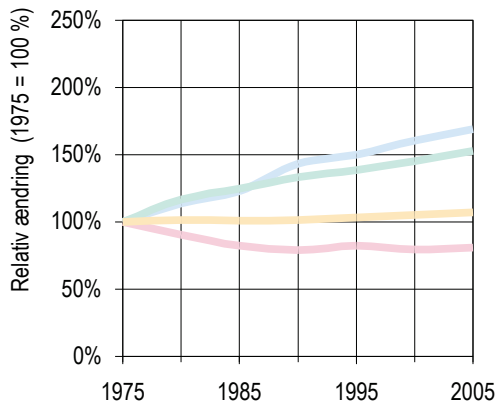
I takt med samfundsudviklingen er det samlede etageareal af alle boligtyper i Danmark vokset med ca. 50 % fra 1975 til 2005. Samtidig er det samlede energiforbrug til boligers opvarmning blevet reduceret med ca. 20%, mens elforbruget er vokset med næsten 70 %, som vist i figur 1. I samme periode har det samlede befolkningstal kun vokset med 7 %.

Til trods for boligers voksende etageareal mellem 1975 og 2005 har der været en absolut reduktion i det samlede energiforbrug til opvarmning. Det skyldes dels, at den eksisterende boligmasse er blevet efterisoleret og ueffektive varmeanlæg udskiftet og dels, at nyere boliger har et lavere varmeforbrug på grund af stramninger i energibestemmelserne.

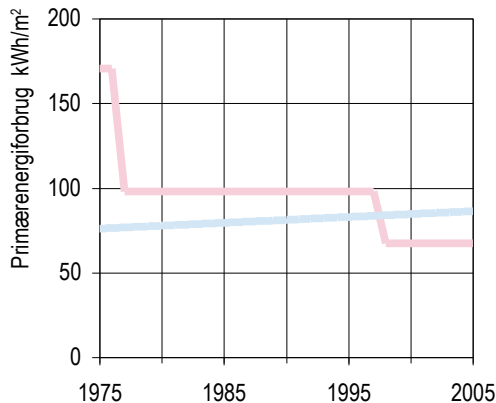
Udviklingen har været meget anderledes for boligers elforbrug, hvor væksten i det samlede elforbrug på ca. 70 % har været større end etagearealets vækst. Det skyldes dels samfundsøkonomiske forbedringer, som har resulteret i livsstilsændringer og en vækst i antallet af elforbrugende apparater, og dels videnssamfundets udvikling, som har resulteret i mange nye typer IT- og multimedieudstyr. Bestanden af tørretumblere har for eksempel vokset med over 500 % mellem 1980 og 2005, en vækst som mere end neutraliserer faldet i tørretumblers specifikke elforbrug på 45 % (Energistyrelsen, 2007).

Tendensen med faldende varmeforbrug og voksende elforbrug bliver endnu tydeligere ved at se på energiforbruget pr. m<sup>2</sup> for nybyggede boliger fra 1975 til 2005. Varmeforbruget kan beregnes på baggrund af de gældende energibestemmelser, mens elforbruget tager udgangspunkt i data præsenteret i figur 1.

For et typisk nybygget rækkehus, som vist i figur 2, er primærenergiforbruget til opvarmning og varmt brugsvand blevet reduceret med ca. 60 % over de sidste 30 år på grund af stramninger i energibestemmelserne. Til gengæld er nybyggede boligers elforbrug til apparater, belysning og teknik, udtrykt som primærenergiforbrug med en faktor



Figur 1. Relativ ændring i befolkning, etageareal og energiforbrug for alle boliger fra 1975 til 2005 (1975 = 100 %):  
Samlet befolkningstal  
Samlet etageareal  
Samlet varmeforbrug  
Samlet elforbrug  
(Energistyrelsen, 2007).



Figur 2. Primærenergiforbrug for nybyggede boliger fra 1975 til 2005:  
Varmeforbrug  
Elforbrug

2,5 anvendt til at vægte elforbrug, vokset med ca. 10 % fra 1975 til 2005. For nybyggede boliger har elforbruget faktisk været større end varmemeforbruget i flere år.

## Kontorers energiforbrug

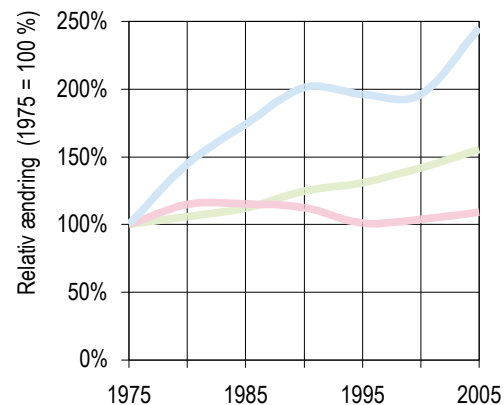
Der har over de sidste 30 år været store ændringer i beskæftigelsen indenfor de private og offentlige serviceerhverv i Danmark, med en omfattende vækst af videnøkonomien indenfor IT- og rådgivningsbrancherne.

Disse forandringer bliver afspejlet i omfanget af det samlede etageareal af kontor- og administrationsbygninger, som er vokset med ca. 55 % fra 1975 til 2005. I samme periode er det samlede varmemeforbrug til kontorbygninger vokset kun ca. 10%, mens elforbruget er vokset 160 %, som vist i figur 3. Der er en vis usikkerhed i disse tal, da de er sammensat fra flere forskellige kilder, men tendensen understøttes af mere overordnede data fra Energistyrelsen (2007).

Den store vækst i elforbrug skyldes en stor vækst i anvendelsen af IT-relaterede teknologier i kontorer. Udover den store stigning i elforbrug til computere mv., har vidensøkonomien skabt nye forretningsmodeller og arbejdsprocesser med fokus på kreativitet, innovation og forandring. Det har ændret synet på kontorers anvendelse, som er blevet tydeliggjort med de såkaldte *New Ways of Working* (Jensen, 2002). Designmæssigt har konsekvensen været opførelsen af meget dybe bygningstyper med store glasfacader, åbne kontorlandskaber og lukkede, indeliggende kerner, og det har skabt et tilsvarende stort behov for elforbrugende kunstig belysning, mekanisk ventilation, køling og CTS-systemer.

Det er også muligt at se på energiforbruget pr. m<sup>2</sup> for nybyggede kontorer fra 1975 til 2005. Her kan elforbruget baseres på data præsenteret i figur 3, mens varmemeforbruget kan beregnes på baggrund af de gældende energibestemmelser.

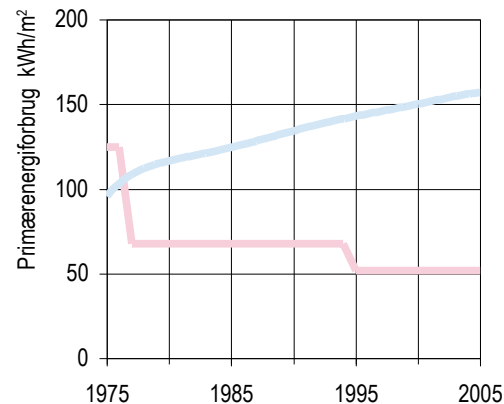
For et typisk nybygget kontor er primærenergiforbruget til opvarmning og varmt brugsvand blevet reduceret med ca. 60 % mellem 1975 og 2005, som vist i figur 4. Til gengæld er nybyggede kontorer elforbrug til apparater, belysning, køling og teknik, udtrykt som primærenergiforbrug, vokset med ca. 55 %.



Figur 3. Relativ ændring i etageareal og energiforbrug for alle kontorer fra 1975 til 2005 (1975 = 100 %):

— Samlet etageareal  
— Samlet varmemeforbrug  
— Samlet elforbrug

(Dansk Ejendomsmæglerforening, 2007; Sadolin & Albæk, 2006; Hartoft-Nielsen, 1992; Danmarks Statistik, 1976 - 1982; Danmarks Statistik, 2008).



Figur 4. Primærenergiforbrug for nybyggede kontorer fra 1975 til 2005:

— Varmeforbrug  
— Elforbrug

## Energi i helhedsperspektiv



Passiv solvarme har skabt veldokumenterede problemer med overophedning om sommeren.

Solsikkehaven, Vonsild, 1995.

Udviklingen i nye bygningers energiforbrug over de sidste 30 år vidner om store reduktioner i varmekonsum kombineret med stor vækst i elforbrug. Denne udvikling følger stort set de historiske ændringer i energibestemmelserne, hvor der har været en fornuftig fokus på en minimering af opvarmningsbehovet.

Der er indbyrdes forbindelse mellem bygningers varme- og elforbrug. Det betyder, at en fokusering på varmebesparelser kan resultere i teknologiske og designmæssige løsninger med negative konsekvenser på andre energimæssige og indeklimatiske områder (Marsh & Lauring, 2005). Disse problemstillinger kan belyses ved at undersøge nogle af de traditionelle varmebesparende foranstaltninger, som er blevet anvendt i nybyggeriet over de sidste 30 år.

### Passiv solvarme

Bevidst udnyttelse af passiv solvarme som energibesparende tiltag blev udviklet fra slutningen af 1960'erne og begyndelsen af 1970'erne. Det skete først i USA og Sydeuropa i bjergområder med rigeligt sollys om vinteren, hvor den passive solvarme blev udnyttet til at minimere opvarmningsbehovet ved at orientere store, lodrette glasfacader mod syd. Erfaringer fra disse områder lå til grund for de første danske forsøgsbyggerier efter oliekrisen, til trods for de væsentligt anderledes klimatiske forhold. I Danmark er lysmængden nemlig begrænset om vinteren, og himlen er skyet eller overskyet i 80 % af dagtimerne.

Passiv solvarme bliver gerne fremhævet for sin evne til at mindske varmebehovet om vinteren, men når vinduesarealerne reguleres, påvirker det også omfanget af overophedning om sommeren. I takt med at bygninger isoleres bedre og varmebehovet mindskes, øges solvarmens andel af den samlede varmebalance, og sandsynligheden for overophedning bliver større.

I flere velkendte forsøgsbyggerier med passiv solvarme er der veldokumenterede problemer med overophedning om sommeren (Hans Bjerregård Rådgivning ApS., 2001; Kristiansen, 2000). De nuværende energibestemmelser kræver derfor, at der tages hensyn til energiforbruget til eliminering af en eventuel overtemperatur på grund af overophedning om sommeren.

Disse problemstillinger kan illustreres for en typisk bolig med passiv solvarme. Energiforbruget beregnes for at sammenligne de tidligere (BR-S98) og nuværende (BR08) energibestemmelser, hvor der blev anvendt lavenergibegreber med forskellige afgænsninger. Den samlede glasareal fastholdes, mens glasarealerne omfordes fra at vende mod nord til at vende mod syd for at udnytte den passive solvarme:

- Når man afgrænser lavenergibegrebet til vinterens opvarmningsbehov, som under BR-S98, kan den passive solvarme minimere energiforbruget, som vist i figur 5.
- Men når der anlægges et helhedsperspektiv, som under BR08, og der også indregnes primærenergiforbruget til eliminering af sommerens overophedning, giver den passive solvarme ingen energimæssige fordele, som vist i figur 6.

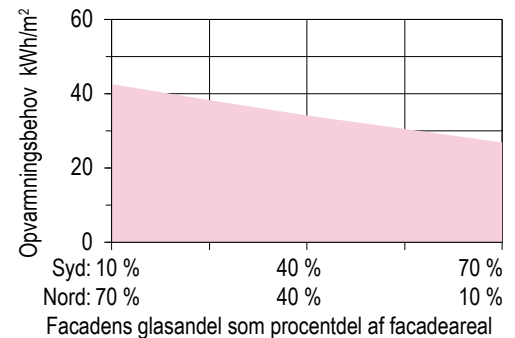
Set i et helhedsperspektiv er der en stor sandsynlighed for at de fleste af 1990'ernes demonstrationsprojekter, hvor passiv solvarme er blevet anvendt som lavenergistrategi, ikke har haft en energimæssig fordel som følge af de store sydvendte glasfacader. Det peger også på at glasarealer kan med fordele fastsættes ud fra bygningers behov for dagslys så der kan skabes lette og velbelyste rum, og så elforbruget til belysning kan reduceres.

## Mekanisk Varmegenvinding

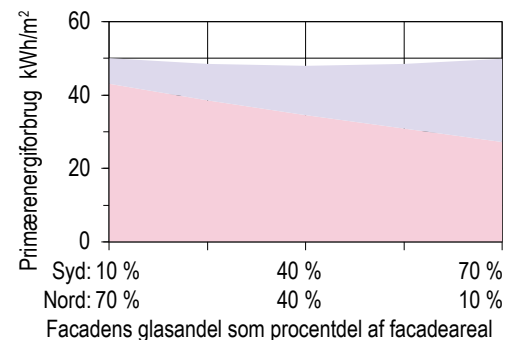
Der har været en tendens i de senere år til at minimere opvarmningsbehovet med varmebesparende teknologier med et stort elforbrug.

Balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding kan give reduktioner i bygningers ventilationstab og opvarmningsbehov, og siden begyndelsen af 1990'erne har flere udviklings- og demonstrationsprojekter arbejdet med at forbedre effektiviteten af disse systemer. Med de tidligere energibestemmelser fokus på en minimering af opvarmningsbehov er mekanisk varmegenvinding blevet set som fordelagtig, fordi ventilationstabet kunne minimeres med 60 til 80 %.

Der er dog et stort elforbrug forbundet med anvendelsen af mekanisk ventilation med varmegenvinding. Det skyldes typisk bygningsreglementets indeklimakrav til anlægøkonomiske designløsninger med dybe bygninger og indeliggende rum. Her er kravet permanent

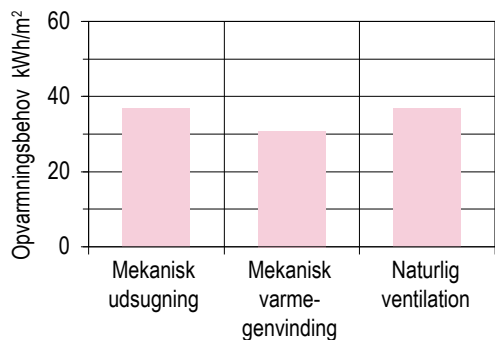


Figur 5. Opvarmningsbehov og passiv solvarme for en typisk bolig beregnet i henhold til BR-S98.

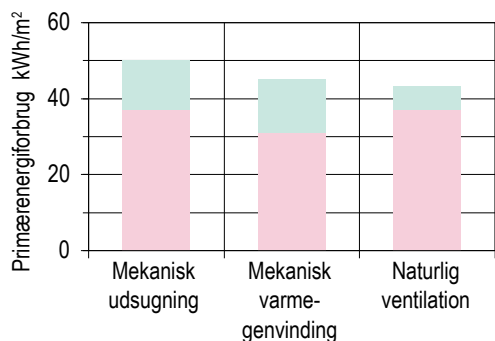


Figur 6. Primærenergiforbrug og passiv solvarme for en typisk bolig beregnet i henhold til BR08:

Overtemperatur  
 Opvarmning



Figur 7. Opvarmningsbehov og ventilationsløsning for en typisk bolig beregnet i henhold til BR-S98.



Figur 8. Primærenergiforbrug og ventilationsløsning for en typisk bolig beregnet i henhold til BR08:

Teknik  
Opvarmning

mekanisk ventilation både om vinteren og om sommeren for at sikre et tilstrækkeligt luftskifte.

Det viser sig at de reduktioner i ventilationstabet, som mekanisk varmegenvinding kan præsentere, typisk bliver tabt i anlæggets større elforbrug (Marsh & Lauring, 2005). Disse problemstillinger kan illustreres ved at undersøge energiforbruget for en typisk bolig med forskellige, typiske ventilationsløsninger beregnet i henhold til de tidligere (BR-S98) og nuværende (BR08) energibestemmelser. Der undersøges mekanisk udsugning, balanceret mekanisk varmegenvinding samt naturlig ventilation:

- Når man afgrænser lavenergibegrebet til vinterens opvarmningsbehov, som under BR-S98, har mekanisk varmegenvinding det mindste energiforbrug, som vist i figur 7.
- Men når der anlægges et helhedsperspektiv, som under BR08, hvor elforbruget til de tekniske installationer også indregnes, har naturlig ventilation det laveste primærenergiforbrug, som vist i figur 8.

Set i et helhedsperspektiv er der igen en stor sandsynlighed for at de fleste af 1990'ernes demonstrationsprojekter, hvor mekanisk ventilation er blevet brugt som lavenergiløsning, har haft et større samlet primærenergiforbrug end hvis naturlig ventilation var blevet brugt.

## Paradigmeskifte: Energiforbrug i et helhedsperspektiv

Den traditionelle diskurs om bygninger og energi har sine rødder i en fortid hvor opvarmning dominerede nye bygningers energiforbrug. Der har imidlertid været en stor reduktion i varmemeforbrug, mens elforbruget er vokset i takt med vidensamfundets udvikling. Samtidig har en række varmebesparende løsninger minimeret opvarmningsbehovet på bekostning af andre energirelaterede faktorer. Derfor er det meget relevant at undersøge hvordan lavenergibegrebet defineres:

- Snævre lavenergibegreber kan afgrænse energispareindsatsen, og det skaber uhensigtsmæssige problemer, som typisk ikke bliver synliggjort, med mindre lavenergibegrebet udvides.
- Energibesparende tiltag skal ses i et helhedsperspektiv, hvor el- og varmemeforbrug minimeres i samspil med, og med hensyn til, indeklimatiske og komfortmæssige krav.



# Lys, luft og energi

Bygningers energiforbrug afhænger af et indbyrdes samspil mellem mange kvalitative og kvantitative faktorer såsom design, funktion, indeklima og teknik. Spørgsmålet om hvordan man definerer lav-energiebegrebet, har imidlertid stor virkning på det designmæssige og teknologiske grundlag for lavenergibygninger. En satsning på varmebesparelser vil typisk resultere i et begrænset antal traditionelle løsningsmodeller, mens en satsning på et bredt spektrum af energimæssige og indeklimatiske faktorer giver flere varierede løsningsmodeller.

For at skabe nytænkning i energidebatten inviterede VKR Holding en rådgivergruppe bestående af arkitektfirmaet Hvidt & Mølgaard samt rådgivende ingeniør Leif Hansen til at tegne en ny domicil i Hørsholm, som blev færdiggjort i 2007. I den nye domicil søges VKR Holdings mission om dagslys, frisk luft og bedre miljø realiseret gennem en bred anvendelse af VKR Gruppens produkter.

Lys og luft spiller en afgørende rolle i den nye domicils udformning. Der arbejdes med mange forskellige rumtyper, højt til loftet og begrænset rumdybde. Alle rum har lys fra mindst to retninger, og der er vinduer i forskellige højder, med ét vindue tæt ved loftet. I bygningens dybe områder giver atrier lys og luft til de nederste etager. Alle åbninger i klimaskærmen har skrå lysninger for at sikre en god lysfordeling.

Alle rum er lette og velbelyste, og der er sjældent behov for kunstig belysning. Det betyder, at der skabes gode dagslysforhold uden behov for store glasarealer, så problemer med kuldenedfald om vinteren samt overophedning og kølebehov om sommeren kan undgås. Dagslysstrategien betyder også, at stort set hele bygningen kan ventileres naturligt med en kombination af krydsventilation og skorstenseffekt.

Bygningen har et højteknologisk og brugervenligt kontrolsystem, som brugerne kan styre individuelt. Det sikrer et minimalt elforbrug til belysning, optimal anvendelse af den naturlige ventilation samt automatisk solafskærmning for at minimere overophedning. Styringen foregår i multifunktionelle vindueskomponenter. Klimaskærmen er også højisoleret, og tunge ydervægge giver en høj termisk masse som stabiliserer indeklimaet.

Den nye domicil viser, med sit helhedsperspektiv på lys, luft og energi, at rumlige og oplevelsesmæssige kvaliteter kan være nøglen til et lavt energiforbrug.

Naturlig dagslys, naturlig ventilation og solafskærmning for at minimere energiforbrug i et helhedsperspektiv.

VKR Holding, Hørsholm, 2007.









## Nutid

Nutidens bygninger har et energiforbrug, som er sammensat af mange komponenter, og det skal vurderes i et helhedsperspektiv.

### Samlet energiforbrug

Historisk set har lovgivning kun reguleret bygningers varmebehov. I 2006 blev nye energibestemmelser introduceret, og disse omfatter flere energirelaterede komponenter (Aggerholm & Grau, 2005):

- Opvarmning: Varmebehov til transmissions- og ventilationstabet.
- Køling: Elbehov til mekanisk køling, luftbehandling mv.
- Varmt brugsvand: Energibehov til det varme brugsvand.
- Belysning: Elbehov til kunstig belysning (dog ikke i boliger).
- Teknik: Elbehov til pumper, ventilatorer mv.
- Installationstab: Energital fra anlæg, distributionsrør mv.

Bygningers vedvarende energiproduktion tælles også med i bestemmelserne. Det omfatter varme fra solvarmeanlæg og el fra solceller.

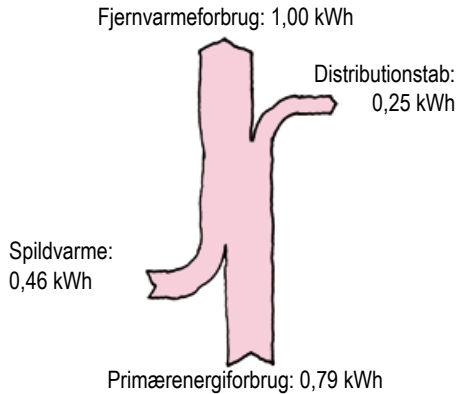
Der er i de senere år dokumenteret mange problemer med overophedning i bygninger på grund af de uønskede effekter af passiv solvarme samt tilskudsvarmen fra apparater og brugere om sommeren. Derfor skal det ækvivalente elbehov til at eliminere temperaturer over 26 °C med et standard køleanlæg tælles med.

Hvis lavenergibegrebet skal udvides til at omfatte energineutrale eller -producerende bygninger, skal det samlede elforbrug synliggøres. Det kan ske ved at medregne elforbruget til apparater i alle bygninger samt til belysning i boliger, selv om de ikke er omfattet af energibestemmelserne på nuværende tidspunkt.

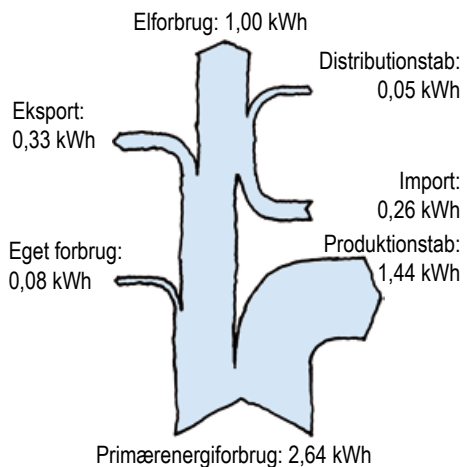
### Primærenergiforbrug

Der er et energital i energiforsyningssystemet, som vist i figur 9 og 10. Energiforbruget skal derfor vægtes i forhold til den anvendte primærenergi, dvs. forbruget fra energiens produktion, distribution og anvendelse. Denne vægtning aspejler energiforbrugets CO<sub>2</sub>-udslip.

Energibestemmelserne kræver at elbehovet ganges med faktor 2,5, mens gas, olie og fjernvarme ganges med faktor 1,0. I virkeligheden varierer disse faktorer på grund af brændselssammensætning, import og eksport. Fra 2000 til 2006 har primærenergifaktoren for elektricitet



Figur 9. Anvendt primærenergi forbundet med bygningers forbrug af 1 kWh fjernvarme (Energistyrelsen, 2007).



Figur 10. Anvendt primærenergi forbundet med bygningers forbrug af 1 kWh elektricitet (Energistyrelsen, 2007).

varieret mellem 2,30 og 3,08, mens faktoren for fjernvarme kun har varieret mellem 0,74 og 0,80 (Energistyrelsen, 2007).

Primærenergifaktorerne er tæt knyttet til forsyningsystemets samlede effektivitet. Derfor kan lavenergiløsninger, som minimerer fjernvarmeforbrug og samtidig øger elforbrug, fx passivhus-konceptet, vise sig at være problematiske, fordi de kan have negative virkninger på forsyningsystemets samlede effektivitet og primærenergiforbrug.

## Nye bygningers samlede primærenergiforbrug

Det samlede primærenergiforbrug for typiske nye bygninger kan analyseres ved at beregne energiforbruget i henhold til energibestemmelserne og ved at tillægge det resterende elforbrug fra data om elforbrug for 2006 fra afsnittet *Fortid*. Analysen viser i øvrigt, at der er en god sammenhæng mellem det beregnede og empiriske datagrundlag for boligers og kontorers elforbrug (Energistyrelsen, 2007; Gram-Hanssen, 2005; Nielsen & Jensen, 2001).

### Boliger

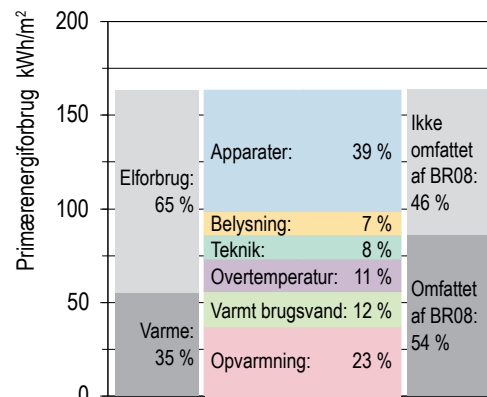
For boliger står elforbrug for ca. 65 % af primærenergien, mens varmeforbrug står for kun 35 %, som vist i figur 11. Det er bemærkelsesværdigt, at elforbruget til apparater og belysning, som ikke omfattes af energibestemmelserne, står for ca. 50 % af det samlede primærenergiforbrug, mens opvarmning udgør under 25 %.

### Kontorer

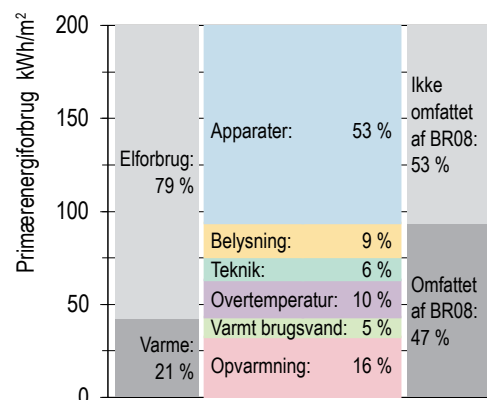
For kontorer er tallene endnu mere markante. Her står elforbruget for ca. 80 % af primærenergien, mens varmeforbruget står for ca. 20 %, som vist i figur 12. Elforbruget til apparater og udstyr er den største komponent på over 50 % af det samlede primærenergiforbrug, mens opvarmning udgør kun ca. 15 %.

### Nye bygninger som helhed

Denne analyse peger på, at det er elforbruget, der dominerer det samlede primærenergiforbrug for alle vigtige typer af nybyggeriet. Samtidig kan cirka halvdelen af disse bygningers primærenergiforbrug tilskrives komponenter, fx elforbruget til apparater, som ikke er omfattet af de nuværende energibestemmelser.



Figur 11. Samlet primærenergiforbrug for typiske nye boliger fordelt på forskellige energirelaterede komponenter.



Figur 12. Samlet primærenergiforbrug for typiske nye kontorer fordelt på forskellige energirelaterede komponenter.

## Fokus på elektricitet



Fokus på elbesparelser og vedvarende elproduktion  
i dansk perspektiv.

Samsø EnergiAkademi, Ballen, 2007.

Det voksende elforbrug i bygninger betyder, at lavenergibegrebet skal udvides i et helhedsperspektiv.

### Energibesparelsers politik og diskurs

Den danske energipolitik for 2008 til 2011 har som målsætning at reducere nye bygningers energiforbrug med 75 % senest i 2020, i forhold til de nuværende energibestemmelser (Regeringen, 2008a). Men når de nuværende bestemmelser kun omfatter ca. 50 % af nye bygningers samlede primærenergiforbrug, fordi elforbruget til apparater ikke medregnes, vil effekten af disse stramninger i virkeligheden kun give en besparelse på ca. 38 %. Store reduktioner i bygningers samlede primærenergiforbrug kan derfor kun opnås, hvis der også fokuseres på et bredt spektrum af elbesparelser. Der kan dog argumenteres imod at medregne elforbruget til apparater i en vurdering af energiforbrug:

#### *Brugere som begrænsning*

Der kan argumenteres for at elforbruget til apparater ikke kan beregnes på et sikkert grundlag, fordi forbruget er afhængigt af brugerne og deres adfærd (Dinesen, Hansen & Trelldal, 2001). I anskaffelsesfasen er det svært at stille krav til brugernes indkøb og brug af elapparater i driftsfasen. Imidlertid kan det bemærkes, at energien til det varme brugsvand er omfattet af energibestemmelserne, selv om vandforbrug er lige så påvirket af brugeradfærd som elforbrug (Petersen & Gram-Hanssen, 2005). Der er også udviklet simplificerede beregningsmetoder, som kan relatere boligens elforbrug til etagearealet, uafhængigt af beboerantal (Gram-Hanssen, 2005).

#### *Lovgivning som begrænsning*

Det kan argumenteres, at krav til apparaters elforbrug ikke kan integreres i energibestemmelserne, fordi forbruget stammer fra en funktion der ikke vedrører selve bygningen (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2008). Bygningsreglementet kan, i følge Byggeloven, kun regulere bygninger og deres faste installationer, og elapparater er på denne måde ikke faste installationer. Byggeloven har sine rødder i Københavns Byggelov fra 1939 og senere det første landsdækkende bygningsreglement fra 1977. Loven stammer derfor fra en tid, hvor omfanget af elinstallationer og elapparater i bygninger var begrænset.

## Elbesparelser som diskurs

I vidensamfundets bygninger stiller brugere høje teknologiske krav, og den resulterende funktionalitet og elforbruget er en integreret del af bygningers drift. I et helhedsperspektiv er der derfor mange fordele i at synliggøre bygningers samlede elforbrug:

- Køling: Traditionelt har man betragtet elapparaters varmeafgivelser som en fordelagtig, gratis tilskudsvarme, der minimerede opvarmningsbehovet (Güldenstein, 2005). Nye bygninger er dog blevet bedre isolerede, mens elforbruget og tilskudsvarmen fra apparater er vokset. Det giver et stigende kølebehov, og elbesparende apparater kan reducere disse problemer.
- Teknologi: I boliger er belysningen til køkken, bad, gang mv. ofte indbygget. LED-belysning forventes udbredt som indbygget lyskilde på grund af teknologiens små størrelse, lange levetid og lave elforbrug (RISØ, 2005). Elbesparelser i boliger fra LED-belysning og dagslysoptimering kan dog ikke tælles med i energirammen.
- Intelligens: Såkaldte intelligente bygninger giver mulighed for en højteknologisk styring af apparater og installationer for at opnå betydelige energibesparelser (Elsparefonden, 2008a). I fremtiden kan løsninger med intelligente elmålere og trådløs styring af apparater forventes integreret som en del af bygningers faste installationer.
- Lavenergibegreb: Der findes en række initiativer rettet mod udvikling af energineutrale og -producerende bygninger (BOLIG+, 2006; VELFAC, 2008). Det betyder, at lavenergibegrebet skal udvides til at omfatte bygningers samlede elforbrug, hvis der skal foretages sammenlignelige vurderinger af forskellige el- og varmebesparende strategier for disse bygninger.

Man kan kvantificere elbesparelsers betydning ved at se på forskellige energibesparende strategier i et helhedsperspektiv. Grundlaget for disse beregninger er beskrevet i afsnittet *Data*:

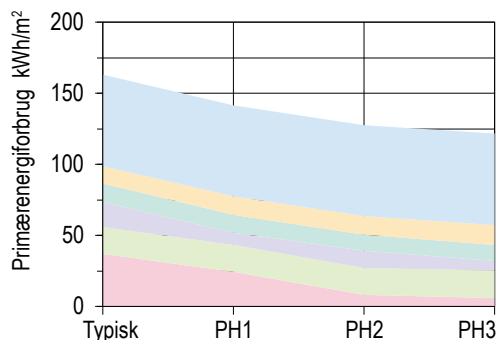
### *Lavenergibolig efter passivhus-koncept*

Passivhus-konceptet er rettet mod en minimering af boligens opvarmningsbehov til 15 kWh/m<sup>2</sup> og det samlede primærenergiforbrug til

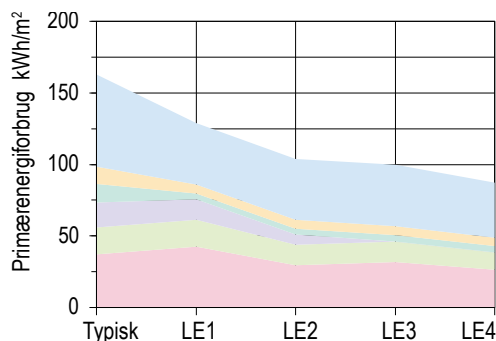


Fokus på elbesparelser og vedvarende elproduktion i engelsk perspektiv.

BowZed, London, 2007.



Figur 13. Primærenergiforbrug for en typisk bolig med kumulative stramninger efter passivhus-koncept.



Figur 14. Primærenergiforbrug for en typisk bolig med kumulative stramninger med fokus på elbesparelser.

For figur 13 og 14. Primærenergiforbrug fordelt på:



120 kWh/m<sup>2</sup> (Fiest, Peper & Görg, 2001). Den kumulative effekt af passivhus-konceptet kan ses i figur 13:

Typisk: Der tages udgangspunkt i et typisk nybygget rækkehus.

PH1: Højsolering ved at minimere klimaskærmens U-værdier.

PH2: Lufttæt klimaskærm og højeffektivt varmegenvindingsanlæg.

PH3: Vinduer orienteres mod syd med vandret solafskærmning.

Resultaterne viser, at selv om primærenergien til opvarmning kan reduceres med 80 % til under 15 kWh/m<sup>2</sup>, bliver det samlede primærenergiforbrug kun reduceret ca. 25 %. Passivhus-konceptet opnår i øvrigt et samlet primærenergiforbrug på under 120 kWh/m<sup>2</sup> alene ved de traditionelle varmebesparende strategier og uden elbesparelser.

### Lavenergibolig med fokus på elbesparelser

Her sættes på et bredt spektrum af elbesparelser, varmebesparelser uden elforbrug samt vedvarende energiproduktion, hvor den kumulative effekt kan ses i figur 14:

Typisk: Der tages udgangspunkt i et typisk nybygget rækkehus.

LE1: Energieffektive apparater og teknik samt naturlig ventilation.

LE2: Varmebesparelser uden elforbrug.

LE3: Vinduer orienteres mod nord for at minimere overophedning.

LE4: 3 m<sup>2</sup> solceller og solfangere til vedvarende energiproduktion.

Resultaterne viser, at en helhedsorienteret fokus på elbesparelser kan minimere det samlede primærenergiforbrug med ca. 50 %, og vil typisk være mere effektiv end passivhus-konceptet.

### Paradigmeskifte: Større fokus på elbesparelser

Med vidensamfundets højteknologiske udvikling er der behov for et langt større fokus på elbesparelser hvis bygninger på sigt skal være energineutrale:

- Lavenergibegrebet bør udvides til at omfatte bygningers samlede elforbrug, så der kan foretages sammenlignelige vurderinger af forskellige energibesparende strategier set i et helhedsperspektiv.
- Ved at synliggøre elforbruget til apparater i alle bygninger samt belysning i boliger understøtter man udvikling af nye elbesparende apparater, installationer og driftskoncepter.



# Synlige elbesparelser

Hvis fremtidens bygninger skal være energineutrale, er der behov for værktøjer, som kan synliggøre og beregne elapparaters besparelsepotentiale, og som kan anvendes parallelt med eksisterende værktøjer i projekteringsfasen. På denne måde kan rådgivere og bygherrer foretage sammenlignelige vurderinger af forskellige energibesparelser.

Sådan et værktøj kan udvikles ved at tage udgangspunkt i eksisterende forskningsresultater (Gram-Hanssen, 2005) og elmodeller, fx *MinBolig*, *Selvtjek-bolig*, *ELMODEL-bolig* og *se-elforbrug*. Datagrundlaget betyder, at elforbruget kan vurderes for de fleste boligtyper samt kontorer til traditionelle, administrative funktioner. For hver type kan der defineres et reference-elforbrug samt besparelsepotentiale ved skift til mere energieffektive apparater og nye elbesparende teknologier. Elbesparelsepotentialet kan beregnes ved valg af:

- Elspareklasser, hvor alle bygningens apparater vælges en bloc i forhold til de velkendte energimærkningsklasserne
- Apparater, hvor der kan ændres på type, antal og energiklasse i forhold til forskellige slutanvendelser og apparattyper.

For at sikre modellens integration med eksisterende energiberegningsværktøjer, skal det være muligt at udveksle relevante data i forhold til tilskudsvarmen fra apparaterne, behovet for solceller til elproduktion samt præsentere et samlet resultat, der viser bygningers samlede primærenergiforbrug inklusiv elforbruget.

Som en del af modellen kan der udvikles nye *elplus-lavenergiklasser* som pendanter til, og en videreudvikling af, energibestemmelsernes lavenergiklasser. Disse *elplus-lavenergiklasser* går på bygningens samlede primærenergiforbrug, inklusiv elforbrug til apparater:

Energiklasser for bygning:	Energiklasser for bygning <i>plus</i> elapparater:	Maksimalt energiforbrug:
Energiramme	Energiramme <i>plus</i>	100 % af ramme
Lavenergiklasse 3	Lavenergiklasse 3 <i>plus</i>	75 % af ramme
Lavenergiklasse 2	Lavenergiklasse 2 <i>plus</i>	50 % af ramme
Lavenergiklasse 1	Lavenergiklasse 1 <i>plus</i>	25 % af ramme
Lavenergiklasse 0	Lavenergiklasse 0 <i>plus</i>	0 % af ramme

SBi er i gang ved at udvikle sådan et værktøj i samarbejde med IT-Energy, Teknologisk Institut og Elsparefonden.

Lavenergikontor med fokus på elbesparende apparater og installationer.  
KfW Bankengruppe, Frankfurt, 2002.



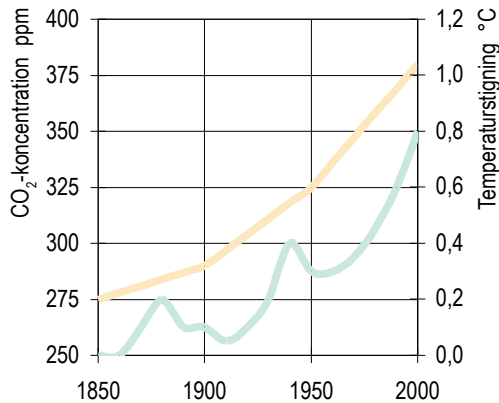




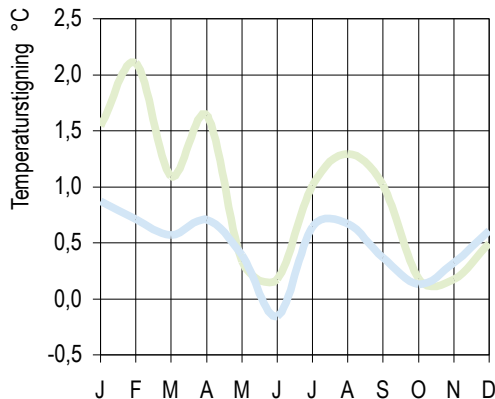
# Klima

Klimaændringer betyder,  
at fremtidens bygninger vil have  
mindre behov for opvarmning  
og større behov for køling

## Fremtid



Figur 15. Atmosfærisk CO<sub>2</sub>-koncentration og stigning i global middeltemperatur fra 1850 til 2000:  
CO<sub>2</sub>-koncentration — orange  
Temperaturstigning — grøn  
(IPCC, 2007).



Figur 16. Stigning i gennemsnitlig udetemperatur i Danmark for følgende perioder:  
15 år: 1993-2007 i forhold til 1975-1989 — grøn  
30 år: 1978-2007 i forhold til 1961-1990 — blå  
(Cappelen & Jørgensen, 2008).

En væsentlig faktor i dansk energipolitik er kravet om at minimere udledningen af drivhusgasser på grund af klimaændringer. Sammenhængen mellem den atmosfæriske CO<sub>2</sub>-koncentration og stigningen i den globale middeltemperatur, som vist i figur 15, forventes at give varmere somre og flere tilfælde af hedeslag over hele kloden, også i Nordeuropa (IPCC, 2007). Mens omfanget af disse forandringer er afhængig af det fremtidige udslip af drivhusgasser, kan man allerede forvente temperaturstigninger på mellem 1 til 6 °C i den globale middeltemperatur ved udgangen af dette århundrede.

### Klimaændringer i dansk perspektiv

2006 og 2007 var de varmeste år registreret i Danmark siden termalmålinger begyndte i 1874, og blandt årene 2000 til 2007 findes fire af de seks varmeste år nogensinde (Cappelen & Jørgensen, 2008).

For Danmark betyder klimaændringer, at man i fremtiden kan forvente et varmere klima med både mildere og vådere vintre samt varmere og tørrere somre. Forskellige klimascenarier beregnet af DMI på baggrund af IPCC's arbejde viser, at man kan forvente en temperaturstigning på op til 3,0 °C for både vinter- og sommertemperaturer i Danmark frem til 2085 (Jørgensen, Christensen & May, 2006).

En analyse af klimadata for Danmark viser at månedsmiddeltemperaturen over de sidste 15 år er mellem 0.2 og 2,2 °C højere i forhold til de 15 år fra 1975 til 1989, med et årsgennemsnit på 0,9 °C, som vist i figur 16. Perioden fra 1975 til 1989 anvendes som klimagrundlag for energi- og indeklimaberegninger i Danmark. Hvis man sammenligner de sidste 30 år med de 30 år fra 1961 til 1990, som anvendes i meteorologisk sammenhæng, er den gennemsnitlige udetemperatur nu ca. 0,5 °C højere. Der er nu en stor sandsynlighed for, at nye bygninger projekteres på et klimagrundlag, som overvurderer behovet for opvarmning og undervurderer problemerne med køling.

### Klimaændringer og bygninger

Klimaændringer betyder, at bygninger i fremtiden vil have mindre behov for opvarmning om vinteren og større behov for køling om sommeren. Derfor er det vigtigt at undersøge effekten af fremtidens klimaændringer på nutidens bygninger.

Her analyseres på en forenklet måde energiforbruget for både boliger og kontorer, opført efter nutidens gældende energibestemmelser, og i forhold til den forventede temperaturstigning på grund af klimaændringer mellem 2010 og 2085. Køling forventes anvendt i stort omfang på grund af klimaændringer (Regeringen, 2008b), så der regnes i alle tilfælde med mekanisk køling til eliminering af overophedning. Det øvrige grundlag er beskrevet i afsnittet *Data*.

### *Boliger*

For en typisk ny bolig viser resultaterne i figur 17, at primærenergiforbruget til køling kan komme til at stige med ca. 40 %, mens det til opvarmning kan komme til at falde med ca. 30 %. Inden for de kommende 25 år kan kølebehovet blive større end varmebehovet for boliger bygget efter nutidens energibestemmelser.

### *Kontorer*

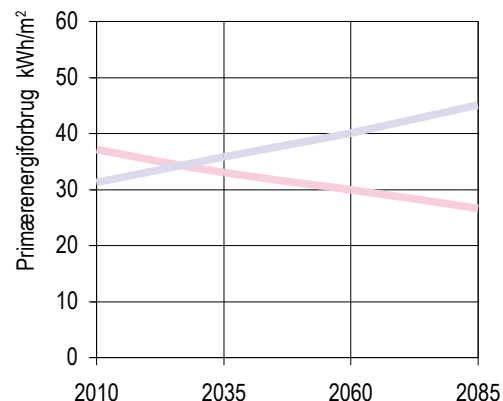
For et typisk nyt kontor kan primærenergiforbruget til køling komme til at stige med ca. 40 %, mens det til opvarmning kan komme til at falde med ca. 15 %, som vist i figur 18. Allerede nu kan kølebehovet betragtes som større end varmebehovet, hvis en eventuel overophedning fjernes med mekanisk køling for kontorer.

### *Bygninger som helhed*

Klimaændringer betyder, at bygningers samlede primærenergiforbrug kan komme til at stige i takt med ændringer i energiforbrugets sammensætning. Kølebehovet og elforbruget kommer til at stige, mens der kommer et tilsvarende fald i varmekonsumet. Disse konklusioner understøttes af en række udenlandske undersøgelser, der viser samme tendenser (Frank, 2005; Hacker & Holmes, 2007).

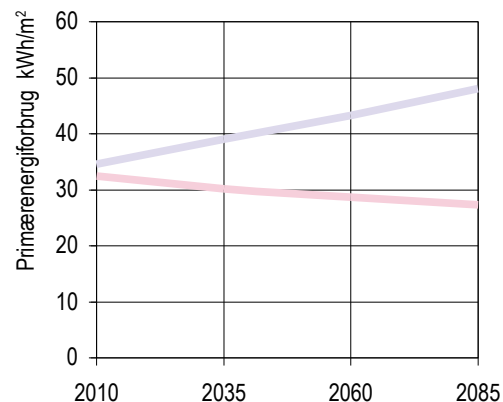
Der er derfor brug for en langt større fokus på designstrategier og teknologier, der minimerer bygningers kølebehov, fordi de kølebesparelser, som kan leveres i dag, vil have en tilsvarende større effekt i fremtiden. Samtidig vil de varmebesparelser, som kan leveres i dag, have en tilsvarende mindre effekt i fremtiden.

Fremtidens lavenergibygninger skal være klimatilpasset, og det kan ske ved at integrere passive designstrategier med aktive teknologier med henblik på at minimere kølebehovet og sikre et godt indeklima.



Figur 17. Primærenergiforbrug til opvarmning og køling for typiske boliger opført i henhold til BR08 med forventede klimaændringer fra 2010 til 2085:

- Opvarmning
- Køling



Figur 18. Primærenergiforbrug til opvarmning og køling for typiske kontorer opført i henhold til BR08 med forventede klimaændringer fra 2010 til 2085:

- Opvarmning
- Køling

## Klima og køling



Passive designløsninger med styret naturlig ventilation og høj termisk masse.

Coin Street Housing Neighbourhood Centre, London, 2007.

For at få en kvantitativ forståelse af virkningerne af klimaændringer i Storbritannien, er rådgivere begyndt at anvende klimafremskrivninger fra globale klimamodeller, såkaldte *klimascenarier*.

I 2002 udgav den britiske regering en detaljeret sæt af regionale klimascenarier for Storbritannien, de såkaldte UKCIP02-scenarier (Hulme m.fl., 2002). Fremskrivningen af UKCIP02-scenarier for London og den sydøstlige del af England giver en stigning i maksimale sommertemperaturer på op til 7 °C i 2080'erne. Ændringerne i sommertemperaturer er også større end de forventede ændringer i årligt gennemsnitlige og globale temperaturer. Da de fleste bygninger anvender naturlig ventilation til køling om sommeren, vil en central udfordring være det øgede behov for køling. Hvis den ydes ved mekaniske systemer, vil øget afkøling flytte balancen i bygningers energibehov væk fra varme og termisk energi i retning af elforbrugende klimaanlæg.

En alternativ mulighed til brug af mekanisk køling er at anvende passive foranstaltninger som designelementer, fx skygge/afskærmning, ventilation og termisk masse. Disse foranstaltninger er traditionelt blevet brugt i varmere klimatyper til at køle bygninger. Ud over at reducere elforbrug og udledning af drivhusgasser, er der en række fordele ved passive designelementer, herunder mindske af byrden på elforsyningssystemet, reduceret behov for mekaniske systemer med relaterede anlægs- og driftsomkostninger og en større konnektivitet til uderummet og den termisk-klimatiske stimulering, der anses at være en positiv oplevelse i bygninger (Steemers & Steane, 2004).

Yderligere analyser af forskellige bygningstyper for London, Manchester og Edinburgh findes i Hacker et al. (2005).

### Overophedning og risikovurdering

Som grundlag for vurdering anvendes referenceåret *Design Summer Year* for London, som er baseret på klimadata fra 1989, fra Chartered Institution of Building Services Engineers. Det sammenlignes med data, som er korrigeret for 2050'ernes fremskrivninger i UKCIP02 *Medium/High*-scenarier (Hulme m.fl., 2002) ved brug af *morphing*, en metode udviklet af Arup (Belcher, Hacker & Powell, 2005). Temperaturkurverne er vist i figur 19, hvor der vises forskellige grænser for hhv. termisk komfort, diskomfort og stress på henholdsvis 25, 28 og 35 °C.

Den enkleste model, man kan bruge til en naturligt ventileret bygning, er at regne med indetemperaturer, som er de samme som udetemperaturerne. Dette vil være tilfældet, hvis bygningen er godt afskærmet fra solen, ikke har et uforholdsmæssigt stort internt varmetilskud, og har et stort luftskifte, som opnås ved naturlig ventilation. Ved anvendelsen af denne enkle model kan den følsomme karakter af termisk komfort i forhold til relativt små forskydninger i udeklimaet undersøges i en britisk sammenhæng.

I nutidens referenceår for London, som vist i figur 19, er temperaturer i de varmere perioder på grænsen mellem komfort og diskomfort, med undtagelse af midten af juli, hvor de ligger i diskomfortzonen lige under 34 °C. Fordi udetemperaturerne på varmere sommerdage er tæt på grænsen mellem komfort og diskomfort, vil en lille forskydning komme til at flytte temperaturer ind i diskomfortzonen.

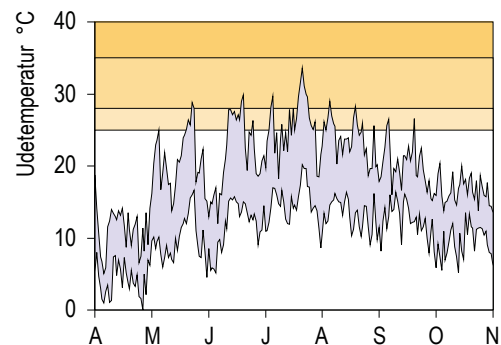
I 2050'ernes *morphed* referenceår, som vist i figur 20, har sommerens varme perioder temperaturer i diskomfortzonen, og den varme periode i juli har nu temperaturer i stresszonen på lige under 38 °C. Natteremperaturerne er også højere, og det reducerer potentialet for natkøling og øger muligheden for komfortproblemer.

2050'ernes *morphed* referenceår viser en betydelig stigning i overophedning og risiko for termisk diskomfort. Men udvælgelsen af klimadata er defineret som en *næsten ekstrem* sommer, og ikke en *ekstremt varm* sommer. Dette betyder, at der i et givet år er en sandsynlighed for en varmere sommer end referenceåret. I virkeligheden var temperaturerne i Londons hedebølge i 2003 den samme som i 2050'ernes *morphed* referenceår.

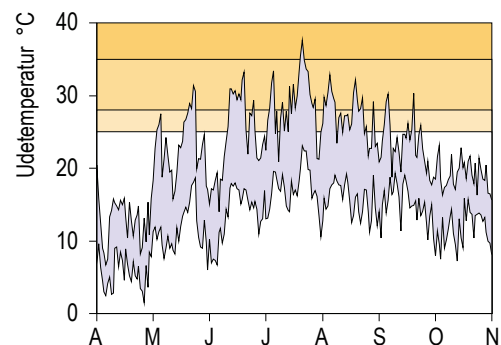
## Passiv køling

I virkeligheden vil en bygnings inde- og udetemperaturer ikke nøjagtig følge hinanden på grund af klimatiske påvirkninger fra bygningens krop og klimaskærm. Disse aspekter kan undersøges i forhold til de *morphed* referenceår, hvor de antal timer med termisk diskomfort for en traditionel tung bolig med nutidens isoleringsniveauer er vist i figur 21:

- Vinduerne er uden solafskærmning og er gradvist åbnet af brugerne, når det bliver varmere. Resultatet viser et stort antal timer med overophedning, og antallet stiger med øgede udetemperaturer.



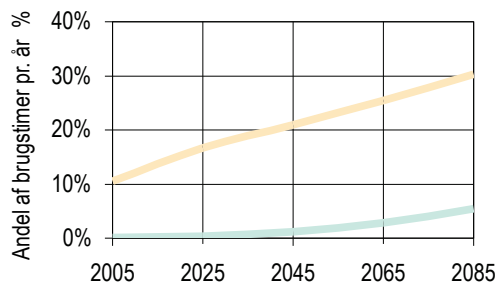
Figur 19. Udetemperaturer fra april til oktober i London med nutidens referenceår.



Figur 20. Udetemperaturer fra april til oktober i London med 2050'ernes *morphed* referenceår.

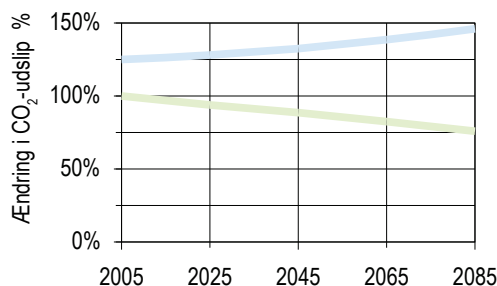
For figur 19 og 20. Temperaturgrænserne for:

- Termisk stress
- Termisk diskomfort
- Termisk komfort
- Daglige minimums- og maksimumstemperaturer



Figur 21. Andel af brugstimer med temperaturer over 25 °C i boligens soveværelse fra 2005 til 2085:

Uden passive køling (orange)  
Med passive køling (grøn)



Figur 22. Ændring i boligens samlede CO<sub>2</sub>-udslip fra 2005 til 2085 (passiv køling i 2005 = 100 %):

Med mekanisk køling (blå)  
Med passiv køling (grøn)

- For at afhjælpe denne situation kan udvendig afskærmning anvendes, og ventilationen kan styres mere effektivt. Vinduerne har udvendige skodder, som er lukket om dagen, og der ventileres med seks luftskifte i timen, når indetemperaturen er over 23 °C, og det er køligere udenfor end inde i boligen. Resultatet i figur 21 viser en dramatisk reduktion i antallet af timer med overophedning.

## Mekanisk køling

Et alternativ til passive designstrategier er at installere mekanisk køling. Dette vil reducere antallet af timer med overophedning, men vil øge boligens elforbrug og derved CO<sub>2</sub>-udslippet i sommermånederne. De forventede ændringer i CO<sub>2</sub>-udslippet fra boligen ved anvendelse af mekanisk kontra passiv køling er vist i figur 22. Opvarmningsbehovet falder, mens klimaet bliver varmere, og elforbruget til køling stiger tilsvarende. Inden 2085 er CO<sub>2</sub>-udslippet fra køling af samme størrelsesorden, som det fra opvarmning, og det samlede CO<sub>2</sub>-udslip er steget med 50% i forhold til boligen med passiv køling i 2005.

## Paradigmeskifte: Større fokus på klimaændringer

Klimaændringer vil betyde, at mange bygninger vil gå fra en position, hvor de forholdsvis let kan køles ved brug passive midler, til en situation, hvor enten avancerede, passive foranstaltninger eller mekanisk køling skal anvendes for at sikre et godt indeklima om sommeren. Anvendelsen af passive foranstaltninger har arkitektoniske konsekvenser og kræver en aktiv styring, mens mekanisk køling har store energimæssige konsekvenser.

Der er behov for at udvide lavenergibegrebet til at omfatte en fremtidig klimatilpasning. Her er målsætningen at minimere energiforbruget og sikre indeklimaet i forhold til klimaændrings stigende sommer- og vintertemperaturer:

- Klimascenarier bør integreres som en del af den regulative og designmæssige proces for at kvantificere effektiviteten af kølebesparende foranstaltninger på fremtidens energiforbrug.
- Passive designstrategier kombineret med aktive teknologier, fx dagslysregulering, solafskærmning, styret naturlig ventilation og termisk masse, kan sikre en effektiv klimatilpasning.



# Faseskiftende materialer

I en fremtid med klimaændringer bliver der et langt større behov for at sikre temperaturforholdene i bygninger om sommeren uden anvendelse af elforbrugende mekanisk køling.

Bygningernes varmekapacitet har stor betydning for at undgå risikoen for overophedning om sommeren og for at reducere kølebehovet. Men mange større bygningstyper, fx kontorbygninger, består af lette, indvendige konstruktioner med en meget lav varmekapacitet. Det skyldes behovet for en hurtig byggetid, åbne planløsninger med gode akustiske forhold samt fremtidige muligheder for en fleksibel indretning. Med kommende stramninger af energibestemmelserne vil der være behov for at overholde indeklimakrav om sommeren uden stigende elforbrug til ventilation og mekanisk køling på grund af klimaændringer.

Bygningernes aktive varmekapacitet kan øges markant ved at anvende faseskiftende materialer. Disse nye materialetyper akkumulerer betydelige energimængder ved selv små temperaturstigninger, når materialet skifter fase fra fast form til flydende. Ved at integrere faseskiftende materialer i kontorbygningers indvendige materialer og konstruktioner, er det muligt at akkumulere overskudsvarmen fra apparater, belysning og brugere, så behovet for køling fjernes eller minimeres. Senere om aftenen kan den akkumulerede varme afgives ved anvendelsen af naturlig ventilation ved natkøling.

Faseskiftende materialer er nu så veludviklede af især BASF i Tyskland, at produkterne kan anvendes som et varmekapacitetsforøgende tilslagsmateriale til fx gipsplader, porebeton og puds. Ved anvendelse af faseskiftende tilslagsmaterialer i 15 mm gipsplader kan der opnås samme termiske egenskaber som 10 cm beton. Dertil kommer at faseskiftet sker hurtigt og indenfor et snævert temperaturinterval.

Anvendelse af faseskiftende materialer retter sig både mod nybyggeriet og mod eksisterende byggeri i forbindelse med renovering. Der er over de sidste år opført eller renoveret mange bygninger i Tyskland med anvendelse af disse materialer, med en tilsvarende udvikling i andre lande. SBi er ansvarlig for en udviklingsindsats, som skal danne et videngrundlag omkring anvendelse af faseskiftende materialer i Danmark, inklusiv byggetekniske krav og grundlaget for energi- og indeklimaberegninger.

Faseskiftende materialer og naturlig ventilation som passiv klimatisering.  
Badenova, Offenburg, 2006.







# Strategi

Der er behov for et nyt paradigme  
for bygninger, energi og klima,  
som lærer af fortiden, afspejler nutiden  
og tager afsæt i fremtiden

# Rum

Når lavenergibegrebet anskues i et helhedsperspektiv, er der god grund til at tænke i et bredt spektrum af strategier vedrørende bygningers funktion, kvalitet og design. Et sæt designstrategier for *rum*, *materialer* og *teknologi* kan følges for fremtidens nye bygninger for at imødekomme disse udfordringer.

## Rum, dagslys og energi

*Rum* omfatter stillingtagen til kvalitative og kvantitative faktorer vedrørende lys, luft, proportionering og funktion set i helhedsperspektiv.

Lysmængden i Danmark er begrænset om vinteren, hvor himlen er skyet eller overskyet i 80 % af dagtimerne. Derfor er et veldisponeret dagslysindfald en central fordring for den arkitektoniske og funktionelle kvalitet, såvel som for bygningers energiforbrug og indeklima.

Designprocessen kan med fordel indledes med at proportionere bygningers glaspartier ud fra dagslysbehovet i det enkelte rum samt fokusere på at undgå risiko for overophedning (Marsh, Larsen, Lauring & Christensen, 2006). Det kan indledningsvis ske ved at afstemme parametre vedrørende rummenes proportionering samt facadeåbningernes orientering, størrelse og type.

### Proportionering

Traditionelle varmebesparende strategier har resulteret i dybe, kompakte bygningstyper med indeliggende rum uden dagslys, og med behov for kunstig belysning og mekanisk ventilation. Med et udvidet lavenergibegreb kan der være mange fordele i at anvende slanke bygningstyper uden indeliggende rum, hvor optimeringen af dagslysforhold minimerer primærenergiforbruget i et helhedsperspektiv.

Dagslysets kvalitet og distribution hænger nøje sammen med rummets proportioner. Rum med stor højde til vinduets overkarm samt beskeden rumdybde kan sikre en god distribution af lysindfaldet. Det giver velbelyste rum med en bedre visuel kvalitet, og det kan minimere elforbruget til belysning i forhold til dybere rum (Johnsen & Christoffersen, 2008).

### Åbning

Med klimændringers stigende temperaturer og en voksende køleproblematik, er der god mening i at udforme facadeåbninger for at sikre et

Rumlige strategier som grundlag for lavenergidesign  
i et helhedsperspektiv.  
Samsø EnergiAkademi, Ballen, 2007.



lavt energiforbrug og et godt indeklima. Derfor kan åbningsers størrelse fastlægges ud fra dagslysbehov, og deres orientering fastlægges for at minimere kølebehovet.

Rum med større vinduesarealer kan med fordel orienteres mod nord for at sikre dagslysniveauet og minimere sommerens kølebehov. Ved at arbejde bevidst med nordlyset som dagslyskilde, kan omfanget af åbninger mod øst, syd og vest kontrolleres i forhold til det overordnede dagslysbehov, hvorved risiko for overophedning kan reduceres.

Facadeåbningernes omfang kan kontrolleres ved ændring af åbningernes størrelse i forhold til ønsket dagslysforhold, bevidst valg af glastype, og ved bevidst integrering af solafskærmning i klimaskærmen. Der opnås energimæssigt de bedste resultater ved ekstern solafskærmning, som er bevægelig med intelligent styring, og som med fordel kan være lodret mod syd samt vandret mod øst og vest.

### Naturlig ventilation

Når fremtidens bygninger skal tage højde for klimaændringer, og elforbruget til ventilation og eliminering af overophedning kommer til at spille en voksende rolle, kan der være mange fordele i at anvende andre løsninger end mekanisk ventilation med varmegenvinding.

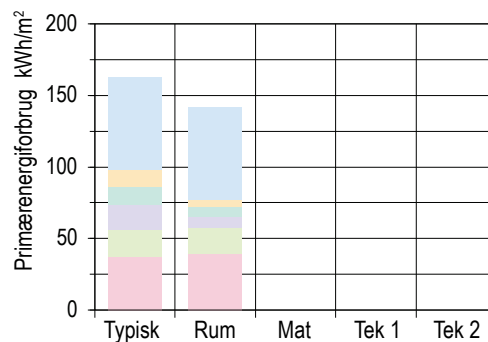
Dagslysoptimerede bygninger med stor loftshøjde, beskeden rumdybde og ingen indeliggende rum er nemmere at ventilere naturligt. Naturlig ventilation regulerer indeklimaet ved et styret luftskifte gennem facadeåbninger, og drives af forskellen mellem inde- og udetemperaturen, den termiske opdrift og vindpåvirkningen på klimaskærmen.

### Energiforbrug i helhedsperspektiv

En bevidst udnyttelse af *rum* kan undersøges for en typisk bolig med følgende strategier, som beskrevet i afsnittet *Data*:

- Proportionering af rum med beskeden rumdybde og stor loftshøjde
- Zonedeling med dybere rum og større glasarealer rettet mod nord
- Glasarealer fastlagt ud fra dagslysbehov
- Dagslysstyring af lavenergibelysning
- Intelligent styring af naturlig ventilation.

Strategien minimerer boligens primærenergiforbrug til belysning, teknik og overtemperatur i et helhedsperspektiv.



Figur 23. Primærenergiforbrug for en typisk bolig med kumulative stramninger efter strategien *Rum*.

Primærenergiforbrug fordelt på:

- Apparater
- Belysning
- Teknik
- Overtemperatur
- Varmt brugsvand
- Opvarmning

# Materialer

Designstrategier for *materialer* omfatter stillingtagen til klimaskærmens isoleringsværdi, bygningens varmekapacitet og klimaskærmens åbninger set i helhedsperspektiv.

## Isolering

Når der tages hensyn til isoleringsværdi, tages der med den øjeblikkeligt kendte teknologi implicit stilling til bygningsdelenes tykkelser. Bygningers isoleringsniveau kan forbedres, men kun op til en vis grænse, fordi hver fordobling af isoleringstykkelsen kun resulterer i en halvering af transmissionstab. Energibesparelsen bliver derfor forholdsvis mindre set i et helhedsperspektiv, i forhold til at det brugbare etageareal bliver reduceret (Marsh, Larsen, Lauring & Christensen, 2006). Forskning og udvikling af såkaldte kompaktisoleringstyper foregår i bestræbelserne på at nedbringe konstruktionstykkelser.

## Varmekapacitet

En høj varmekapacitet er traditionelt blevet brugt til at minimere bygningers varmebehov. Men en høj varmekapacitet minimerer også kølebehovet, og det er en fordel i forhold til stigende sommertemperaturer som følge af klimaændringer (Hacker, Belcher & Connel, 2005).

Der er et godt samspil mellem udnyttelsen af termisk masse i kombination med naturlig dagslys, naturlig ventilation og natkøling. Tunge materialer med høj varmekapacitet kan med størst energimæssig fordel anvendes til indvendige bygningsdele og placeres inden for den isolerede klimaskærm, uden tildækning med lette beklædninger eller nedhægte lofter. Ved at undgå nedhægte lofter for at give betondæk en forbedret varmekapacitet, kan den ekstra loftshøjde også anvendes til at forbedre dagslysindfaldet og udnytte naturlig ventilation i bygninger. Løsningerne skal dog nøje gennemtænkes i forhold til akustiske problemer i større bygningstyper.

Mange bygningstyper består alligevel af lette, indvendige konstruktioner med lav varmekapacitet, fordi der er krav på store, åbne rum, som kan opdeles efter behov. Faseskiftende materialer er, som tidligere beskrevet, en ny materialeteknologi, som kan give lette byggekomponenter en høj varmekapacitet. Idet bygninger skal tage højde for klimaændringers temperaturstigninger, kan disse løsningstyper komme til at spille en væsentlig rolle for fremtidens lavenergibygninger.

Lette, transluscente facader kan give arkitektoniske, produktionsmæssige og energimæssige fordele.

Laban Dance Centre, Greenwich, 2003.



## Facader

I de tilfælde, hvor der ikke ønskes meget dybe konstruktionstykkelser af funktionelle, arkitektoniske og økonomiske årsager, kalder isoleringskrav typisk på slanke materialer, som tillader en effektiv isolering af klimaskærmen. Lette facader med beklædninger af fx træ, glas, polycarbonat og metalplader vil på den baggrund formodentlig vinde stigende indpas i fremtidens nybyggeri.

En voksende anvendelse af præfabrikerede elementer og moduler i byggeriet kan give en dobbeltgevinst, hvor gode energitekniske løsninger med en høj isoleringsværdi og minimale kuldebroer kan integreres med optimerede produktionsforhold, der giver en bedre byggeteknisk kvalitet.

## Vinduer

Vinduer skal sikre dagslys og ventilation samtidig med, at de skal minimere transmissionstab, styre solindfaldet og modvirke overophedning. Vinduer er samtidig arkitektonisk betydningsfulde for bygningers rumlige og dagslysmæssige kvaliteter. Med et udvidet lavenergibegreb forventes det helhedsorienterede design af multifunktionelle vindueskomponenter derfor at blive et markant indsatsområde.

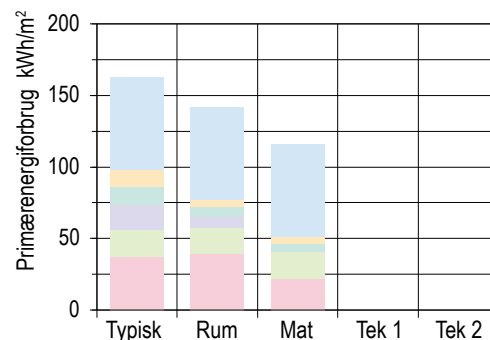
Multifunktionelle vinduer kan fremstilles med reduceret ramme/karmareal for mindsket transmissionstab og forbedret dagslysfald, integreret dagslysstyring og solafskærmning samt styret naturlig ventilation og passiv forvarmning af udeluften.

## Energiforbrug i helhedsperspektiv

En bevidst strategi omkring *materialer* skaber gode forudsætninger for en kumulativ reduktion af primærenergiforbruget:

- Let, højsoleret klimaskærm med minimerede kuldebroer
- Multifunktionelle vinduer med lavt transmissionstab, reduceret ramme/karmareal og passiv forvarmning af udeluften
- Øget vinduesareal for at fastholde dagslysniveauet
- Tunge, indvendige bygningsdele med høj varmekapacitet.

Strategien eliminerer overtemperaturen, og det samlede primærenergiforbrug reduceres med 30 % i forhold til den typiske bolig.



Figur 24. Primærenergiforbrug for en typisk bolig med kumulative stramninger efter strategien *Materialer*.

Primærenergiforbrug fordelt på:

- Apparater
- Belysning
- Teknik
- Overtemperatur
- Varmt brugsvand
- Opvarmning

# Teknologi

I vidensamfundets bygninger kan man forvente voksende højteknologiske krav og øget udbredelse af intelligente apparater og installationer. *Teknologi* omfatter derfor stillingtagen til bygningens teknologiske indhold set i helhedsperspektiv.

Hvis bygninger på sigt skal være energineutrale, er der behov for et udvidet lavenergibegreb, som også omfatter det samlede elforbrug. Det peger i retning af helhedsorienterede strategier, der fokuserer særligt på nedbringelse af elforbruget, og som understøtter udvikling af nye elbesparende apparater, installationer og driftkoncepter. Et bredt spektrum af elbesparende teknologier, som rækker videre end de nuværende energibestemmers krav, kan give betydelige reduktioner i det samlede primærenergiforbrug.

Elbesparelser og byningsintegreret energiproduktion  
som nøglen til energineutralitet.  
Solarseidenlung, Freiburg, 2005.



## Installationer

I vidensamfundets bygninger vokser anvendelsen af elektroniske apparater og udstyr. Udviklingen af nye energieffektive elinstallationer, som betyder væsentlige elbesparelser, giver derfor god mening. Det kan omfatte integrationen af elspareskinneteknologi til styring af standby-forbruget samt lavspændingsnetværk til reduktion af omformeringstab. Disse løsninger flytter en del af apparaters elforbrug til de faste installationer, hvorved der opnås elbesparelser.

## Apparater

Elapparater står for størstedelen af bygningers samlede primærenergiforbrug. Under projektering kan det være svært at stille krav til brugernes indkøb og brug af apparater i driftsfasen. Der er imidlertid en række elapparater, der bliver indkøbt og installeret som en del af opførelsen, fx hårde hvidevarer til boligprojekter og computere til kontorbygninger. En målrettet satsning på energieffektive apparater bør igangsættes tidligt i anskaffelsesfasen ved hjælp af relevant ekspertviden og vejledninger (Elsparefonden, 2007a, 2008b).

## Drift

I fremtidens intelligente bygninger kommer der mere fokus på brugernes adfærd, og hvordan en brugervenlig styring kan reducere energiforbruget. Ved anvendelse af intelligente elmålere kan elforbruget flyttes til tidspunkter med en høj produktion af CO<sub>2</sub>-neutral vindkraft, mens



anvendelse af trådløs styring kan minimere apparaternes standby- og elforbrug. Yderligere kan en intelligent, aktiv styring af installationer og komponenter i forhold til dagslysstyring, solafskærmning, opvarmning og køling sikre et lavt energiforbrug og et godt indeklima.

Det såkaldte ESCO-konceptet er relevant i forhold til energieffektiv drift. En ESCO-virksomhed, eller Energy Service Company, specialiserer sig i energitjenester. I programmeringsfasen identificerer virksomheden energibesparelser, som kan finansiere de nødvendige ekstrainvesteringer, og ved implementering er virksomheden efterfølgende ansvarlig for bygningens løbende, energibesparende drift.

### Produktion

De nye energibestemmelser giver mulighed for at medregne den vedvarende energiproduktion fra solfangere og solceller. Energie neutrale eller energiproducerende bygninger vil typisk altid udnytte vedvarende energiproduktion. I forhold til energisystemet anses anvendelse af solceller til elproduktion som fordelagtig i kraftvarmeområder, fordi behovet for tilført strøm mindskes om sommeren, hvor kraftvarmesystemets spildvarme ikke kan nyttiggøres.

## Energiforbrug i helhedsperspektiv

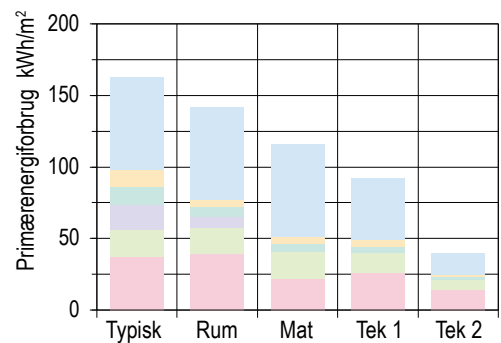
Set i lyset af bygningers stigende elforbrug kan fokus på *teknologi* være en væsentlig nøgle til fremtidens lavenergi- og energie neutrale bygninger:

### Teknologi 1

Her fokuseres på et bredt spektrum af energibesparende teknologier ved anvendelse af energieffektive installationer til opvarmning og varmt brugsvand samt energieffektive elapparater. Strategien giver kumulative reduktioner på 45 % i det samlede primærenergiforbrug i forhold til den typiske bolig.

### Teknologi 2

Her fokuseres på bygningsintegreret vedvarende energiproduktion. Der integreres 20 m<sup>2</sup> solceller og 20 m<sup>2</sup> solfangere i boligernes sydfacade. Strategien giver kumulative reduktioner på 75 % i det samlede primærenergiforbrug i forhold til den typiske bolig.



Figur 25. Primærenergiforbrug for en typisk bolig med kumulative stramninger efter strategien Teknologi.

Primærenergiforbrug fordelt på:







# Data

De præsenterede energiberegninger i denne bog tager udgangspunkt i en række forudsætninger, som beskrives på følgende sider.

Der tages udgangspunkt i nybyggeri og gængse bygningsformer med velkendte byggetekniske og energitekniske løsninger, der opfylder Bygningsreglementet. Programmet Be06 er anvendt til energiberegningerne:

- Fjernvarme anvendes til opvarmning.
- Der anvendes typiske tekniske installationer.
- Dagslysforhold er beregnet på baggrund af Marsh, Larsen, Lauring & Christensen (2006).
- Beregningsprogrammet BSim er blevet anvendt til at kvalitetssikre Be06-beregninger af lignende bygningsformer på et tidligere projekt (Marsh, Larsen, Lauring & Christensen, 2006).

*For alle beregninger gælder følgende:*

<u>Bygningstype:</u>	<u>Bolig</u>	<u>Kontor</u>
Beskrivelse:	Rækkehus i to etager	Kontorhus i tre etager
Brugstid:	0 - 24 h	8 - 17 h
Bygningsdybde:	9,20 m	14,00 m (Gang: 1,5 m)
Rumhøjde:	2,30 m	2,50 m
Opvarmet areal:	I alt 120 m <sup>2</sup>	I alt 2.700 m <sup>2</sup>
Varmekapacitet:	100 Wh/K m <sup>2</sup>	100 Wh/K m <sup>2</sup>
Bygningsudformning:	Boligstokke med 6 huse	900 m <sup>2</sup> uopvarmet kælder
Orientering:	Mod nordøst/sydvest	Mod nordøst/sydvest
Varmetilskud: Personer:	1,5 W/m <sup>2</sup>	4,0 W/m <sup>2</sup>
Ventilationstype:	Mekanisk udsugning	Mek. varmegenvinding
Genvindingsgrad:	-	65 %
SEL:	1,0 kJ/m <sup>3</sup>	2,1 kJ/m <sup>3</sup>
Mekanisk ventilation:	0,30 l/s m <sup>2</sup>	0,90 l/s m <sup>2</sup>
Infiltration (dag/nat):	-	0,13 / 0,09 l/s m <sup>2</sup>
Sommer nat. vent.:	0,60 l/s m <sup>2</sup>	-
Køling:	Overtemperatur	Overtemperatur
Belysningsniveau:	50 lux	200 lux (Gang: 50 lux)
Eleffekt: Belysning:	8 W/m <sup>2</sup>	7 W/m <sup>2</sup> (Gang: 2,5 W/m <sup>2</sup> )
Brugstid: Belysning:	6 - 9 & 15 - 24 h	8 - 17 h
Benyttelsesfaktor:	0,2	1,0
Belysningsstyring:	Manuel	Auto (Gang: Uden)

*For afsnit Fortid og Nutid (side 12, 13 & 21) gælder følgende:*

<u>For bygningsreglement:</u>	<u>BR72</u>	<u>BR77</u>	<u>BR95/S98</u>	<u>BR08</u>
<u>Bygningstype: Bolig &amp; Kontor:</u>				
U-værdi: Ydervæg:	1,00	0,40	0,30	0,20 W/m <sup>2</sup> K
Vindue:	3,60	2,90	1,80	1,50 W/m <sup>2</sup> K
Tag:	0,45	0,20	0,20	0,15 W/m <sup>2</sup> K
Linjetab: Vindue:	0,09	0,09	0,03	0,03 W/m K
Vindue: Soltransmittans:	76 %	76 %	72 %	63 %

Bygningstype: Bolig:

U-værdi:	Terrændæk:	0,60	0,30	0,20	0,15 W/m <sup>2</sup> K
Linjetab:	Fundament:	1,00	0,80	0,25	0,15 W/m K
Vinduesareal ifht. facadeareal:	35 %	25 %	35 %	40 %	
Varmetilskud: Apparater:	3,04	3,18	3,40	3,50 W/m <sup>2</sup>	

Bygningstype: Kontor:

U-værdi:	Dæk mod kælder:	0,60	0,40	0,40	0,40 W/m <sup>2</sup> K
	Kældervæg:	1,00	0,60	0,40	0,40 W/m <sup>2</sup> K
	Kældergulv:	0,75	0,45	0,30	0,30 W/m <sup>2</sup> K
Vinduesareal ifht. facadeareal:	40 %	30 %	40 %	45 %	
Varmetilskud: Apparater:	6,00	6,00	6,00	6,00 W/m <sup>2</sup>	
Elforbrug: Særligt apparater:	1,5	3,9	7,4	9,1 kW	

**For afsnit Energi i Helhed (side 14-16) gælder følgende:**

For analyse af passiv solvarme (Bygningstype: Bolig under BR08):

Boligen orienteres mod nord/syd med vinduesareal ifht. facadeareal:

Mod syd:	10 %	25 %	40 %	55 %	70 %
Mod nord:	70 %	55 %	40 %	25 %	10 %

For analyse af ventilationsløsning (Bygningstype: Bolig under BR08):

Ventilationstype:	Mek. udsugning	Mek. VGV; 65 %	Nat. vent.
SEL	1,0	1,2	0,0 kJ/m <sup>3</sup>
Mekanisk:	0,30	0,30	0,00 l/s m <sup>2</sup>
Vinter: Naturlig:	0,00	0,00	0,30 l/s m <sup>2</sup>
Infiltration:	0,00	0,13	0,00 l/s m <sup>2</sup>
Sommer: Naturlig:	0,60	0,60	0,90 l/s m <sup>2</sup>

**For afsnit Fokus på elektricitet (side 22-24) gælder følgende:**

For analyse af passivhus-konceptet (Typisk bygning: Bolig under BR08):

PH1:	U-værdi:	Ydervæg, tag & terrændæk:	0,10; Vindue: 1,00 W/m <sup>2</sup> K
	Linjetab:	Fundament:	0,05; Vindue: 0,00 W/m K
	Vindue:	Soltransmittans:	38 %
PH2	Mekanisk varmegenvinding:	Virkning:	85 %; SEL: 0,9 kJ/m <sup>3</sup>
	Vinter: Mekanisk:	0,30; Infiltration:	0,06 l/s m <sup>2</sup>
	Sommer: Mekanisk:	0,30; Naturlig:	0,60 l/s m <sup>2</sup>
PH3	Orientering mod nord/syd med vinduesareal ift facadeareal:		
	Mod syd:	60 %	Mod nord: 20 %
	Vinduer mod syd:	Vandret solafskærmning	

For analyse med fokus på elbesparelser (Typisk bygning: Bolig under BR08):

Besparelser for apparater, teknik og varmt brugsvand beregnet på baggrund af Marsh & Lauring (2005), Birch & Krogboe (2004) og Elsparefonden (2007b).

LE1:	Apparater og teknik:	Besparelse på 33 %
	Naturlig ventilation:	SEL: 0,0 kJ/m <sup>3</sup>
	Vinter: 0,30; Sommer:	0,90 l/s m <sup>2</sup>
LE2:	U-værdi:	Ydervæg, tag & terrændæk: 0,15; Vindue: 1,15 W/m <sup>2</sup> K
	Linjetab:	Fundament: 0,05; Vindue: 0,00 W/m K

- Vindue: Soltransmittans: 46 %  
 Varmetab fra varmesystem: Besparelse på 33 %  
 Varmt brugsvand: Besparelse 20 %  
 Forvarmning af udeluft i 3G-vinduer på 25 %; Beregnet på baggrund af Marsh & Lauring (2003) og Raffnsøe (2007)
- LE3: Orientering mod nord/syd med vinduesareal ift facadeareal:  
 Mod syd: 20 %; Mod nord: 60 %
- LE4: Solfangere: 3 m<sup>2</sup>; Facadeintegrerede mod syd  
 Solceller: 3 m<sup>2</sup>; Facadeintegrerede mod syd

*For afsnit **Fremtid** (side 28-29) gælder følgende:*

For analyse af klimænderinger (Bygningstype: Bolig & Kontor under BR08):

Køling:	Mekanisk køling			
År:	2010	2020	2050	2085
Temp.stigning:	0,0	0,5	1,4	2,7 °C

Klimænderinger beregnet på baggrund af gennemsnit af A2- og B2-scenarier fra Jørgensen, Christensen & May (2006).

*For kapitel **Strategi** (side 36-41) gælder følgende:*

Typisk: Der tages udgangspunkt i Boligen under BR08.

For afsnit **Rum**:

Bygningsdybde: 7,20 m                      Rumhøjde: 2,70 m  
 Dagslysniveau: Gennemsnitlig dagslysfaktor: 5 %  
 Orientering mod nord/syd: Vinduesareal fastsat efter dagslysbehov:  
 Mod syd: Rumdybde: 2,7 m                      25 % vinduesareal ifht. facadeareal  
 Mod nord: Rumdybde: 4,5 m                      31 % vinduesareal ifht. facadeareal  
 Eleffekt: Belysning: 4 W/m<sup>2</sup>                      Belysningsstyring: Automatisk  
 Naturlig ventilation: SEL: 0,0 kJ/m<sup>3</sup>; Vinter: 0,3; Sommer: 0,9 l/s m<sup>2</sup>

For afsnit **Materialer**:

U-værdi: Ydervæg: 0,15; Tag & terrændæk: 0,10; Vindue: 1,00 W/m<sup>2</sup> K  
 Linjetab: Fundament: 0,05; Vindue: 0,00 W/m K  
 Varmekapacitet: 160 Wh/K m<sup>2</sup>  
 Vindue: Soltransmittans: 38 %  
 Vinduesareal ift facadeareal fastsat efter dagslysbehov:  
 Mod syd: 28 %; Mod nord: 35 %  
 Forvarmning af udeluft i 3G-vinduer på 25 %;  
 Beregnet på baggrund af Marsh & Lauring (2003) og Raffnsøe (2007).

For afsnit **Teknologi**:

Besparelser for apparater, teknik og varmt brugsvand beregnet på baggrund af Marsh & Lauring (2005), Birch & Krogboe (2004) og Elsparafonden (2007b).  
 Apparater og teknik: Besparelse på 33 %  
 Varmetab fra varmesystem: Besparelse på 33 %  
 Varmt brugsvand: Besparelse 20 %  
 Solfangere: 20 m<sup>2</sup>; Facadeintegrerede mod syd  
 Solceller: 20 m<sup>2</sup>; Facadeintegrerede mod syd

# Referencer

- Aggerholm, S. & Grau, K. (2005). *Bygningers energibehov* (SBI-anvisning 213). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Belcher, S.B., Hacker, J.N., Powell, D.S. (2005). Constructing design weather data for future climates. *Building Services Engineering Research and Technology*. 26(1), 49–61.
- Birch & Krogboe (2004). *Potentiale vurdering, Energibesparelser i husholdninger, erhverv og offentlig sektor*. København: Energistyrelsen.
- BOLIG+ (2006). *Energineutral bolig - Det selvforsynende hus - BOLIG+*. København, Elsparefonden.
- Cappelen, J. & Jørgensen, B.V. (2008). *Dansk vejr siden 1874* (Teknisk rapport 08-02). København: Danmarks Meteorologiske Institut.
- Dansk Ejendomsmæglerforening (2007). *Oline-Lokalbørs Statistikken*. København.
- Danmarks Statistik (1976 - 1982). *Statistisk Årbog 1976 - 1982*. København.
- Danmarks Statistik (2008). *The Danish Energy Accounts*. København. Lokaliseret 20080625 på: <http://www.dst.dk:80/HomeUK/Statistics/ofs/NatAcc/IOTABLES/Energy.aspx>
- Dinesen, J., Hansen, A. & Tredal, J. (2001). *Miljødeklarering og -klassificering af bygninger* (By og Byg Dokumentation 014). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Elsparefonden (2007a). *Indretningsvejledning 08*. København.
- Elsparefonden (2007b). *Handlingsplan for elbesparelser 07*. København.
- Elsparefonden (2008a). *My Home - The intelligent home*. København.
- Elsparefonden (2008b). *Indkøbsvejledning 08*. København.
- Energistyrelsen (2007). *Energistatistik 2006*. København.
- Erhvervs- og Byggestyrelsen (2008). *Notat. Ny lavenergiklasse i bygningsreglement. 17. januar 2008*. København.
- Fiest, W., Peper, S. & Görg, M. (2001). *CEPHEUS-Project information No. 36. Final Technical Report July 2001*. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- Frank, T. (2005). Climate Change Impacts on Building Heating and Cooling Energy Demand in Switzerland. *Energy and Buildings*, 37(11), 1175-1185.
- Gram-Hanssen, K. (2005). *Husholdningers elforbrug - hvem bruger hvor meget, til hvad og hvorfor?* (SBI 2005:12). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Güldensteen, H. (2005). *Lavenergibygninger klasse 1: aktive besparelser, passive huse*. København: Det Økologiske Råd.
- Hacker, J., Belcher, S. & Connel, R. (2005). *Beating the Heat: keeping UK buildings cool in a warming climate* (UKCIP Briefing Rapport). Oxford: United Kingdom Climate Impact Programme.
- Hacker, J., Holmes, M., Belcher, S. & Davies, G. (2005). *Climate Change and the Indoor Environment: Impacts and Adaption* (CIBSE TM36). London: Chartered Institute for Building Services Engineers.
- Hacker, J. & Holmes, M. (2007). Thermal Comfort: Climate Change and the Environmental Design of Buildings in the United Kingdom. *Built Environment*, 33(1), 97-114.

Hans Bjerregård Rådgivning ApS. (2001). *12 byøkologiske forsøgsbyggerier: Erfaringer og anbefalinger*. København: Erhvervs- og Boligstyrelsen.

Hulme, M., Jenkins, G.J., Lu, X., Turnpenny, J.R., Mitchell, T.D., Jones, R.G., Lowe, J., Murphy, J.M., Hassell, D., Boorman, P., McDonald, R. & Hill, S. (2002). *Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report*. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat.

Jensen, P.A. (2002). *Byggeri - fra vision til ny virkelighed*. København: Forlaget Tegl.

Johnsen, K. & Christoffersen, J. (2008). *Dagslys i rum og bygninger* (SBI-anvisning 219). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Jørgensen, A.M., Christensen, O.B. & May, W. (2006). *Klimascenarier for Danmark* (Projektrapport). København: Danmarks Meteorologiske Institut.

Kristiansen, F. (2000). *Lavenergirækkehuse. IEA - Task 13. Målinger og beregninger* (Rapport R-025-2000). Lyngby: IBE/Danmarks Tekniske Universitet.

Marsh, R. & Lauring, M. (red.) (2003). *Bolig og naturlig ventilation*. Århus: Arkitektskolens Forlag.

Marsh, R. & Lauring, M. (2005). *Bolig · Miljø · Kvalitet* (SBI 2005:15). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Marsh, R., Larsen, V.G., Lauring, M. & Christensen, M. (2006). *Arkitektur og energi*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Hartoft-Nielsen, P. (1992). *Kontorbyggeriet 1980-90 og den fremtidige planlægning i hovedstadsområdet*. København: Miljøministeriet, Planstyrelsen.

Nielsen, M.V. & Jensen, M.L. (2001). *Energinøgletal for privat handel- og service*. Vanløse: Dansk Energi Analyse A/S.

Petersen, K.N. & Gram-Hanssen, K. (2005). *Husholdningers energi- og vandforbrug* (SBI 2005:09). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Raffnsøe, L.M. (2007). *Thermal Performance of Air Flow Windows. Master Thesis*. Lyngby: BYG-DTU/Technical University of Denmark.

Regeringen (2008a). *Aftale mellem regeringen (Venstre og Det Konservative Folkeparti), Socialdemokraterne, Dansk Folkeparti, Socialistisk Folkeparti, Det Radikale Venstre og Ny Alliance om den danske energipolitik i årene 2008-2011*. København.

Regeringen (2008b). *Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark*. København: Energistyrelsen.

RISØ (2005). *Slutrapport for EDI Energibesparelser med diodelys. PSO nr. 336-54*. Roskilde.

Sadolin & Albæk (2006). *Copenhagen and Malmoe Property Market Report 2006*. København.

Steemers, K. & Steane, M.A. (Eds.) (2004). *Environmental diversity in architecture*. London: Spon Press.

VELFAC (2008). *Bolig for livet*. Ringkøbing. Lokaliseret 20080915 på: [http://www.velfac.dk/Global/Bolig\\_for\\_livet](http://www.velfac.dk/Global/Bolig_for_livet)

# Summary

## **Buildings, Energy & Climate Change: Towards a New Paradigm**

In the Danish context it is possible to develop a new paradigm for low- or zero-energy buildings which learns from the past, reflects current development, and is based upon future climate challenges. This book illuminates and examines this new paradigm:

### *Holistic Approach*

There is need for a holistic approach to energy savings. Building energy consumption has undergone a major transformation since the 1970's oil crisis. Initiatives have greatly reduced new buildings' heat consumption, but at the same time electricity consumption has grown rapidly as a consequence of the knowledge society's development.

### *Focus on Electricity Savings*

There is need for a focus on electricity savings. The total electricity consumption now dominates new buildings' total primary energy consumption, whilst the heat demand has become less important. This fact changes perceptions of how zero-energy buildings are defined.

### *Focus on Climate Change*

There is need for a focus on climate change. Even with reduced greenhouse gas emissions, it is predicted that climate change will result in rising summer and winter temperatures. Buildings in the future will therefore have a reduced need for space heating in the winter and an increased demand for cooling in the summer.

### *Space, Materials and Technology*

The new paradigm can be realised by an integrated design strategy for low- or zero-energy buildings:

- Space: Focus on proportioning rooms and buildings so natural daylight and natural ventilation can be utilised. This reduces electricity consumption to lighting, cooling and building services.
- Materials: Focus on optimising material usage to insulation and thermal mass. This reduces space heating and electricity to cooling.
- Technology: Holistic approach to reducing electricity consumption, including building integrated renewable energy production.

Denne bog udgives  
i forbindelse med konferencen  
*Bygninger Energi Klima: Mod et nyt paradigme*

Udført af:  
Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Univ.  
Vglcph aps  
Arup  
Akademisk Arkitektforening

Støttet af:  
BoligfondenKuben  
Elsparefonden  
Dansk Energi/ELFORSK



**Statens Byggeforskningsinstitut**  
**AALBORG UNIVERSITET**

1. udgave, 2008  
ISBN 978-87-563-1347-6





